

无线传感网中面向到达时差估计的数据压缩方法研究

李 协 张效义 汪子嘉

(解放军信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002)

摘 要: 基于传感网的无源定位系统中, 数据压缩是解决 TDOA 估计所需大规模数据传输与节点有限的能量、通信能力之间矛盾的重要方法。本文梳理了该领域的研究现状, 着重介绍了基于费舍尔信息的数据压缩方法, 针对原方法比特分配运算效率低的问题, 提出了以各频率分量在总的费舍尔信息量中的占比确定比特分配初始解的方法; 针对部分比特用于量化不携带时延信息的幅度谱, 提出了仅压缩和传输待定位信号的相位谱的方法。仿真证明, 改进的比特分配运算仅需要 3 次迭代即可完成, 运算效率有较大提高; 在相同的压缩率下, 改进后的数据压缩方法可获得更高的 TDOA 估计精度。

关键词: 费舍尔信息量; 到达时差估计; 数据压缩; 比特分配; 无线传感器网络

中图分类号: TN958 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2012)09-1226-09

Study on Data Compression for TDOA Estimation in WSN Application

LI Xie ZHANG Xiao-yi WANG Zi-jia

(Information Engineering College, Information Engineering University of PLA, Zheng Zhou 450002, China)

Abstract: Data compression is the key method to solve the conflicts between the limited sensor energy and communication capability in wireless sensor networks based passive location system. In this paper, a survey on the researches about compression for estimation is given, and the Fisher-information-based data compression method for TDOA estimation application is particular introduced. In order to improve the Lagrangian Multiplier based bit allocation method which the original data compression method used is not efficient, a rapid bit allocation method based on the proportion of Fisher-information each frequency components took in the total Fisher-information is proposed; In addition, due to the amplitude of the signal have no relation with the time delay, sending only the phase of the signal instead of the real and imaginary parts of the DFT coefficients is proposed. The simulation results show that the new bit allocation method's process time compare to the Lagrangian Multiplier based bit allocation method and the water-filling based bit allocation method is reduced, and only leads slight TDOA estimation accuracy's deterioration; In the same compression ratio, sending only the phase of the signal acquire a better TDOA estimation accuracy in high SNRs than sending the real and imaginary parts of the signal's DFT coefficients. Overall, the improved method is more operational than the original one.

Key words: Fisher-Information; Time Difference of Arrival estimation; data compression; bit allocation; wireless sensor networks

1 引言

目标辐射源无源定位是无线传感器网络技术的重

要应用之一^[1]。在各种无源定位机制中, TDOA 机制在定位精度上有着明显优势^[2]。但是, TDOA 机制要求部署于不同位置的节点将采集的信号样值传输至同

一节点,通过互相关等方法估计到达时间差。这种大规模信号样值传输使得无线传感器网络面临以下挑战:(1)节点间通信能力相对较弱。需要说明的是,工程上相关法测时精度能达到采样周期的十分之一,那么预期 10ns 的测时精度需要 10MHz 的采样率,也即将近 100Mb/s 的数据流量^[3]。这种规模的数据传输对带宽有限、丢包率较高的节点间通信链路是严峻的挑战;(2)节点能量有限。文献^[4]的研究表明,在两个相距 100 米的传感器节点间传输一比特所需的能量和在节点上执行三千条指令所需的能量相当。文献^[5]实验结果表明,传感器节点信号传输(包括发射和接受)的能耗远大于数据采集、读写的能耗,是最耗能的环节,从节能的角度应尽量避免大规模数据传输。

为缓解以上矛盾,目前在学术界逐渐达成的共识是:通过增加计算能耗换取传输能耗的减少^[4],即“以计算换通信”。而数据压缩是现有的最成熟,最实用的方法之一。因此,本文首先梳理了面向传感网中估计问题的数据压缩研究现状,其次重点介绍了基于费舍尔信息的数据压缩方法^[6],并指出该方法有待改进的两个问题:一是基于拉格朗日乘子法的比特分配方法运算效率较低;二是该方法有相当一部分比特用于量化不携带时延信息的幅度谱,仍有进一步压缩的潜力。针对这两点不足,分别提出了相应的改进方法:首先,提出了一种高效的比特分配方法。通过每一个频率分量对应的费舍尔信息量在总的费舍尔信息量中的占比以确定比特分配的初始值。其次,根据信号幅度谱不含时延信息的原理,仅传输待定位信号压缩后的相位谱。

改进方法的仿真结果表明,新的比特分配方法虽然是一种次最优解方法,造成了一部分费舍尔信息量的损失,但仅需 3 次迭代,运算效率较基于拉格朗日乘子法和基于注水原理的比特分配方法^[7]均有较大提高;在相同的压缩率下,仅传输信号相位谱的方法相比于原文的方法,提高了 TDOA 估计精度。

2 面向 TDOA 估计的数据压缩方法

由于数据传输是传感器节点最耗能的任务之一,且“以计算换通信”具有巨大的节能潜力^[4],因此针对传感网的数据压缩方法研究几乎伴随传感网的产生而产生。本文讨论其中的一类特殊应用:面向传感网中估计问题的数据压缩方法。

2.1 面向传感网中估计问题的数据压缩研究现状

传感器网络的一类重要应用就是基于传感器采集数据的估计和推断。有的估计问题只需要单个传感器即可完成,而另外一些则必须至少联合使用两个传感器的采集数据才可以完成,如基于相关法的时差、频差估计等。文献^[8]称此类问题为“Two-Sensor-Critical”。根据估计对象的不同,可将“Two-Sensor-Critical”数据压缩方法分为信号源信号估计^{[9][10][11]}和信号中的参数估计^{[12][13][14]}两类。

文献^[8]为面向传感网中估计问题的数据压缩方法建立了如图 1 所示的模型。图 1 中信号源辐射的信号为 $S(\theta)$,含有未知参数 θ ,第 i 个传感器接收到的信号为 $X_i(\theta)$, $X_i(\theta)$ 量化编码为 $\hat{X}_i(\theta)$ 后传递至中心处理节点并解码为 $\tilde{X}_i(\theta)$,中心处理节点联合收集到的 N 个 $\tilde{X}_i(\theta)$,对信号源辐射信号 $S(\theta)$ 或参数 θ 做出估计。

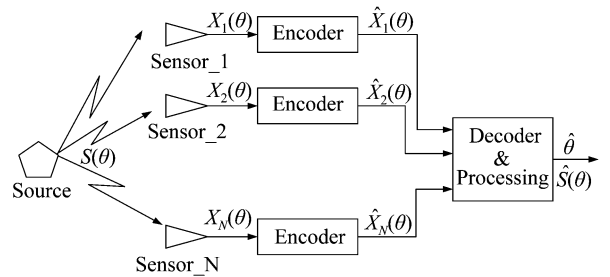


图 1 面向传感网中估计问题的数据压缩模型

Fig. 1 Data compression model for TDOA estimation in WSN Application

在面向传感网中估计问题的数据压缩领域的早期文献中,文献^[11]以假设待压缩数据的概率分布已知为前提,建立了以待估计参数的均方误差(MSE)为失真函数的率失真边界,然后转而寻找最优的量化器和汇聚中心处理过程;文献^[12]推导了压缩后数据速率与无偏估计子方差之间的关系。之后,文献^[13]将待估计参数估计精度的克拉美罗界描述为数据传输速率的函数;文献^[14]以 Lloyd-Max 算法设计了一种矢量量化器来最大化单个标量参数估计的费舍尔信息量,但这种量化器的设计需要待估计信号概率分布的先验知识或者有训练数据支持。以上文献对该领域的理论做了有益的探讨,但提出的方法很难工程实现。

2000 年,Mark L. Fowler 教授以分析信号样值粗量化对时差估计精度的影响^[15]为起点着手研究面向

估计的数据压缩问题,接着比较了抽取与量化两种操作对时差估计精度的影响^[16];2001年,他发表的文章^{[17][18]}指出基于香农信息的有损数据压缩方法折衷信息传输率和失真度(MSE),并不能直接的反映有损压缩对能量效率和参数估计性能的影响,从而提出了折衷信息传输率和估计精度的非均方误差(non-MSE)数据压缩准则。以上述研究为基础,2005年以来,Mark L. Fowler教授和他的学生Mo Chen进一步提出基于费舍尔信息量(Fisher-Information-Based)的数据压缩方法^{[6][19][20]},取得了一系列有益的成果。该方法简介及其在到达时差估计中的应用见本文下一小节。

2.2 基于费舍尔信息量(Fisher-Information-Based)的数据压缩方法

基于费舍尔信息量的数据压缩方法折衷信息传输率和能耗、传输时延、估计精度,是针对无线传感器网络统计推断应用的数据压缩方法。该方法在一定的信息传输率、能量限制下,尽可能的保留了压缩后数据中的费舍尔信息量。由于费舍尔信息量是从随机观测数据中能够获得的待估计参数的“信息”的测度(费舍尔信息量的逆给出了无偏估计子的克拉美罗界),所以压缩后数据中保留的待估计参数的费舍尔信息越多,估计精度就越高。基于费舍尔信息量的数据压缩在TDOA估计的应用中,采用DFT变换编码,并基于拉格朗日乘法进行比特分配,从而实现每个频率分量进行变比特量化,以求得总的费舍尔信息量的最大化。仿真实验表明,该方法在保证较高的TDOA估计精度的前提下,可实现极高的压缩率。

设在高斯环境中,传感器节点1、2采集到的待定位信号样值分别为:

$$\begin{aligned} x_1[n] &= s[n - (n_0 + d)] + w_1[n] \\ x_2[n] &= s[n - n_0] + w_2[n] \\ n &= -N/2, -N/2 + 1, \dots, N/2 - 1 \end{aligned} \quad (1)$$

(1)式中, n_0 是无需估计的未知参数, d 即为待定位信号到达不同节点的时间差。假设 $w_1[n]$ 、 $w_2[n]$ 是方差分别为 σ_1^2 、 σ_2^2 的相互独立的高斯白噪声。记节点1采集到的信号样值序列为 $\mathbf{x}_1 = \{x_1[-N/2], x_1[-N/2+1], \dots, x_1[N/2-1]\}$,条件分布密度函数为 $p(\mathbf{x}_1 | d)$,其费舍尔信息定义为:

$$J(d; \mathbf{x}_1) = E \left\{ \left[\frac{\partial \ln p(\mathbf{x}_1 | d)}{\partial d} \right]^2 \right\} \quad (2)$$

为了有效的计算信号的费舍尔信息,文献^[6]采取DFT变换编码,通过在频域去除(或仅粗略的量化)那些含费舍尔信息较少的频率分量,以达到高效压缩的目的。

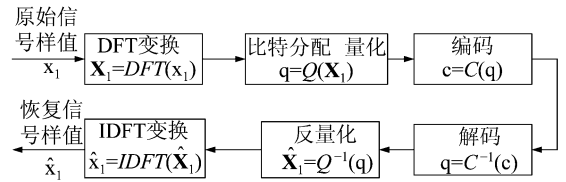


图2 基于费舍尔信息量的数据压缩模型

Fig.2 Fisher-information-based data compression structure

图2展示了基于费舍尔信息量的数据压缩模型。首先,在节点1将接收到的待定位信号 \mathbf{x}_1 进行 N 点的DFT(在工程中可采用FFT)变换。 N 个DFT系数分别为 $\mathbf{X}_1 = \{X_1[-N/2], X_1[-N/2+1], \dots, X_1[N/2-1]\}$,明显地,任何形式的有损压缩将改变 $p(\mathbf{x}_1 | d)$,文献^[6]给出了变换域压缩后信号的费舍尔信息(q_n^2 为量化噪声方差):

$$J(d; \hat{\mathbf{X}}_1) = \sum_{n \in \Omega} \left[\frac{\partial \mathbf{X}_1(d)}{\partial d} \right]^2 \frac{1}{\sigma_1^2 + q_n^2} \quad (3)$$

其次,变换域压缩。由于DFT变换为正交变换,所以变换前后费舍尔信息不变,即 $J(d; \mathbf{x}_1) = J(d; \mathbf{X}_1)$,选择部分DFT系数、进行变比特量化,得到压缩后的DFT系数 $\hat{\mathbf{X}}_1 = \{X_1[k] | k \in \Omega\}$ (Ω 是被选中的DFT系数的索引的集合),由于损失了费舍尔信息,故 $J(d; \hat{\mathbf{X}}_1) \leq J(d; \mathbf{X}_1)$;最后,将压缩后的频域信号 $\hat{\mathbf{X}}_1$ 传输至节点2,在节点2处解压恢复出 $\hat{\mathbf{x}}_1$, $\hat{\mathbf{x}}_1$ 和节点2接收到的待定位信号样值 \mathbf{x}_2 通过互相关等方法估计到达时间差。

文献^[6]还给出了比特分配方法。首先,将接收到的原始信号样值变换到频域,($S[k]$ 为 $s[n]$ 的DFT系数):

$$\begin{aligned} X_1[k] &= S[k] \exp \left[-jk \frac{2\pi}{N} (n_0 + d) \right] + W_1[k] \\ k &= -\frac{N}{2}, -\frac{N}{2} + 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \end{aligned} \quad (4)$$

其次,通过比特分配,用 N 个可变速率的量化器对每个DFT系数进行 $2b_k$ (b_k 比特量化实数部分, b_k 比特量化虚数部分, b_k 是非负整数, $0 \leq b_k \leq p$, p 为每个可变速率量化器的最高量化比特数)比特量化,在可分配比特总数为 R 的限制条件下,使得量化后信号所携带的费舍尔信息量最大,可描述为公式(5):

舍尔信息量之差最大的前 R_i 个频率分量,在这些频率分量比特分配向下取整的初始解上增加 1 比特。

至此,所有 R 个比特均分配完毕。

本文提出的比特分配方法经过三次迭代即可完成比特分配,预期改进的比特分配方法较基于拉格朗日乘子法和基于注水原理的比特分配算法具有更高的运算效率。

3.2 仅压缩并传输待定位信号相位谱

将 $s[n]$ 的 DFT 变换 $S[k]$ 写为(9)式:

$$S[k] = |S[k]| \exp(-j\beta[k])$$

$$k = -\frac{N}{2}, -\frac{N}{2}+1, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (9)$$

将 $X_1[k]$ 、 $X_2[k]$ 重写为(10)式:

$$X_1[k] = |S[k]| \exp[-j\beta[k] - jk \frac{2\pi}{N}(n_0+d)] + W_1[k]$$

$$X_2[k] = |S[k]| \exp[-j\beta[k] - jk \frac{2\pi}{N}n_0] + W_2[k]$$

$$k = -\frac{N}{2}, -\frac{N}{2}+1, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (10)$$

从(10)式中可以看出,若不考虑噪声的影响,则 $X_1[k]$ 、 $X_2[k]$ 具有相同的幅度谱 $|S[k]|$,文献^[6]的方法压缩并传输节点 1 收到的待定位信号的 DFT 系数,包括相位谱和幅度谱信息,但待定位信号的幅度谱并不包含信号的时延信息,而且还可利用节点 2 收到的待定位信号的幅度谱近似的代替,因此,本文对文献^[6]的方法做改进如下:

1. 仅传输 $x_1[n]$ 的相位谱 $\phi[k]$ ($\phi[k] \approx \beta[k] + k \frac{2\pi}{N}(n_0+d)$) 至节点 2;

2. 利用 $x_2[n]$ 的幅度谱 $|X_2[k]|$ ($|X_2[k]| \approx |S[k]|$) 代替 $x_1[n]$ 的幅度谱 $|X_1[k]|$ ($|X_1[k]| \approx |S[k]|$),恢复出 $x_1[n]$ 的频谱 $X_1[k]$,再和 $x_2[n]$ 做时差估计。

相比于文献^[6]用 b_k 比特分别量化每个 DFT 系数的实部和虚部,既量化幅度信息也量化相位信息,改进的方法是用 $2b_k$ 比特量化每个 DFT 系数的相位。所以,在相同的压缩率下,预期改进的方法具有更小的误差量化,从而能获得更高的估计精度。

4 对改进方法的仿真分析

同文献^[6],待定位信源采用伪随机调制信息的 FM

信号,其复基带幅度谱如下图 3 所示:

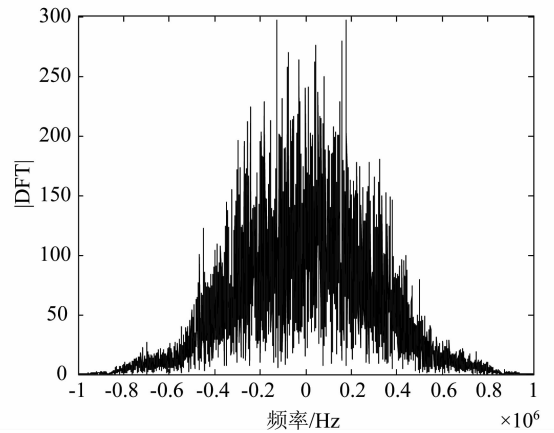


图3 待定位信源复基带幅度谱

Fig. 3 The spectrum of a FM signal used in the simulation

假设各个传感器节点时钟同步,54MHz 采样,取 2048 个样点。

4.1 改进方法的能耗、时延仿真分析

首先分析 TDOA 定位过程各个环节的能耗。一般的,在不使用数据压缩方法时,TDOA 定位有四个环节,分别是信号样值采集(采样、量化和编码)、样值传输、时差估计和定位解算。分析这四个环节的能耗时,如果某个环节涉及节点间数据传输,则援引一阶无线电模型^[8](First Order Radio Model)分析通信能耗;若某个环节涉及运算,则先估算完成该运算需要的执行的指令条数,再按执行每条指令耗能 5×10^{-11} 焦耳^[4] 估算运算能耗。

一阶无线电模型中,在距离 d 上发送 L 比特(一个分组的长度)数据时消耗的能量为:

$$E_{TX}(L, d) = \begin{cases} L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{mp} \cdot d^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (11)$$

E_{elec} 是发射电路或者接收电路每发送或接收 1 比特信息所消耗的能量, ϵ_{fs} 和 ϵ_{mp} 取决于信号放大器模型。在 $d = d_0$ 时, (11) 式等式右边上、下两部分相等,

从而有 $d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}}$ 。接收 L 比特数据要消耗的能量为:

$$E_{RX} = L \cdot E_{elec}$$

假设一次 TDOA 定位有 K 个传感器节点参与,那么 K 个传感器节点分别采集长度为 m 个分组的信号样值所需的能耗是:

$$E_{d,a} = K \cdot m \cdot E_{RX} + E_{d,q,e} \quad (12)$$

式(12)中, $E_{d,q,e}$ 为量化编码过程的运算量。而量化编码主要是查表运算,其时间复杂度约为 $T(mL) = 2(mL)^2$, 即量化编码过程需要执行的指令约为 $2(mL)^2$ 条。据文献^[3], 实际工程中一段长度为 $2^b (2^b = m \cdot L)$ 比特的采样数据相关算法的运算量为 $(b+1)2^b$ 次复乘法和 $b \cdot 2^{b+1}$ 次复加法。通常, 硬件平台一条指令周期可完成一次实数乘、加运算。

以 1 个传感器节点向其他 $K-1$ 个传感器节点广播

的形式计算信号传输能耗。那么, 该节点发射能耗为 $E_{d,s} = m \cdot E_{TX}$; $K-1$ 个传感器节点接收能耗为 $E_{d,r} = (K-1) \cdot m \cdot E_{RX}$ 。则节点间信号样值传输总的能耗为:

$$E_{d,t} = E_{d,s} + E_{d,r} \quad (13)$$

设定位解算使用 chan 氏算法, 该算法需要 $2K^3 + 16K^2 - 8K + 120$ 次实乘法法和 $16K^2 - 8K + 48$ 次实加法^[22]。

综上, 对各种参数取典型值: $E_{elec} = 50\text{nJ}$, $\epsilon_{mp} = 0.0013\text{pJ/bit/m}^4$, L 为一个分组长度 128bit , 设 $K=4$, 则一次 TDOA 定位过程中, 各个环节的能耗分布见表 1:

表 1 4 个传感器节点参与的一次 TDOA 定位过程中各个环节的能耗

Tab. 1 The each steps' energy consumption in TDOA location

定位环节	信号采集	发射	接受	时差估计	chan 氏解算
能耗(焦耳)	0.0033	139.5873	0.0025	4.2271×10^{-5}	4.4640×10^{-8}

表 2 改进的比特分配方法各步骤运算量分析

Tab. 2 The energy consumption in improved bit allocation method

运算步骤	复乘法次数	复加法次数
$\mathbf{X}_1(N \text{ 点的 FFT}, N=2^b)$	$\frac{N}{2} \cdot b$	$N \cdot b$
$\text{var}(\mathbf{X}_1)$	$N+2$	$2N-1$
第一次迭代	$6N + \frac{N}{2} \cdot b + 4$	$3N + N \cdot b - 1$
计算占比	$\frac{1}{4}N$	
向上、向下取整		N
第二次迭代	$7N + \frac{N}{2} \cdot b + 4$	$3N + N \cdot b - 1$
第三次迭代	$7N + \frac{N}{2} \cdot b + 4$	$3N + N \cdot b - 1$
计算初始解未分配的比特数		$\frac{1}{2}N$
两次比特分配的费舍尔信息相减		$\frac{1}{2}N$

由表 1 可知, 信号样值的传输是整个 TDOA 定位过程中最耗能的环节。

其次, 分析改进的数据压缩方法的计算能耗。首先分解改进的比特分配算法各步骤的运算量如表 2。

此外, 两次比特分配的费舍尔信息之差排序所需的平均时间复杂度为 $T(N) = N^2$ 。将以上所有部分总的运算量折合为指令条数, 即可估算改进的比特分配方法总的能耗。

表 3 仿真了 4 个传感器节点参与的一次 TDOA 定位过程中, 不进行数据压缩的数据传输能耗和 8:1 改进方法压缩数据传输能耗及压缩时比特分配运算的能耗。从表 3 可看出, 以“计算能耗的增加换取传输能耗的减少”的好处是明显的。

最后, 分析改进的数据压缩方法的时延性能。基于注水原理的比特分配算法较之基于拉格朗日乘子法的比特分配算法提高了运算效率^[7], 但依然需要多次

迭代。其迭代次数还与压缩率和步长有关,即如果压缩率为 CR ,未压缩前的比特总数为 $R_{w/o}$,每次分配 n 比特,那么迭代次数至少为 $\frac{R_{w/o}}{n \cdot CR}$,若取 $R_{w/o} = 2048 \times 14 = 28672 \text{bit}$, $CR = 8$, $n = 100$,则需要约 36 次迭代。而本文改进的比特分配方法的迭代次数与其他因素无关,固定为 3 次。因此,从运算效率来讲,改进的比特分配方法在运算效率方面的提升是明显的。

表3 数据压缩前后的数据传输能耗

Tab.3 The data transmit energy consumption with $CR=8$ compression and w/o compression

	未压缩传输	比特分配	8:1压缩后传输
能耗(焦耳)	139.5873	8.0921×10^{-5}	17.9372

4.2 改进方法的估计精度仿真分析

首先,分析改进的比特分配方法对到达时差估计精度的影响。需要指出的是,在与原比特分配方法比较时,二者均既量化幅度信息也量化相位信息。

对图3所示的待定位信号做 2048 点 FFT,然后对每个 FFT 系数以 14bit 均匀量化,则各频率分量对应的费舍尔信息如图4:

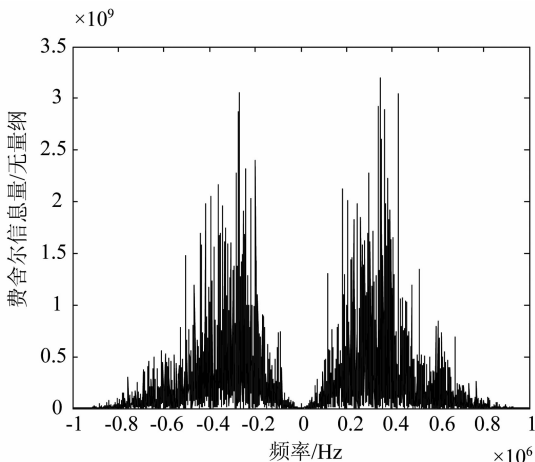


图4 每个 DFT 系数 14 比特均匀量化时的费舍尔信息量
Fig.4 The Fisher-information with 14 bits quantization per DFT coefficient

观察图4可知,费舍尔信息在频域的分布是极不均匀的,极大值与极小值之间的差距悬殊,因此,均匀量化的方式必然是不合理的。

以改进的比特分配方法分别按 8 倍、16 倍压缩后的各频率分量所分配的比特及量化后的舍尔信息依次如图5、图6、图7、图8所示:

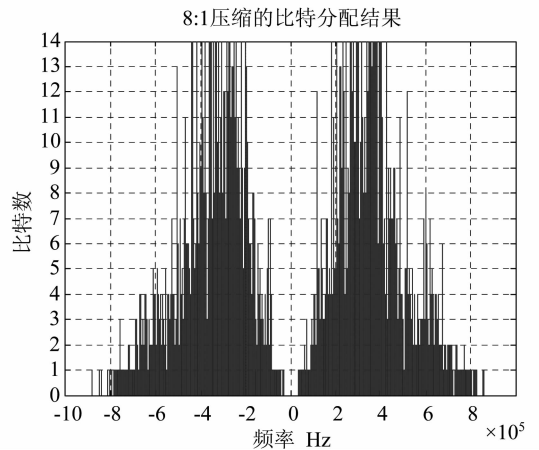


图5 频域 8 倍压缩信号的比特分配结果

Fig.5 The bit allocation results with $CR=8$

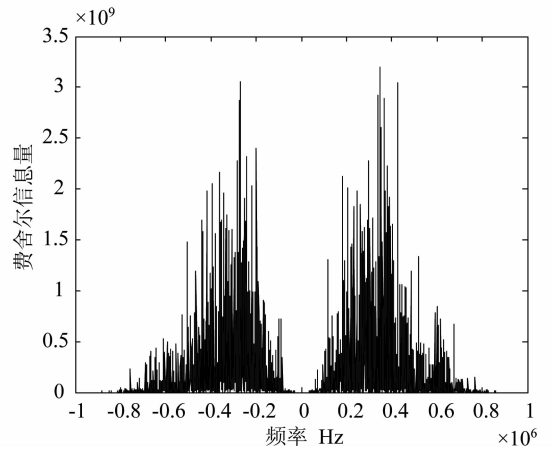


图6 频域 8 倍压缩信号的费舍尔信息量

Fig.6 The Fisher-information with $CR=8$

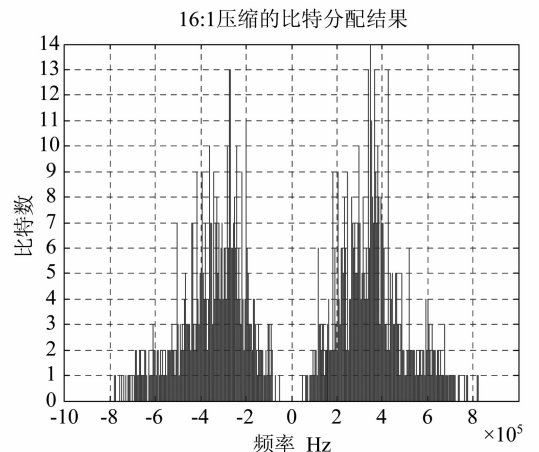


图7 频域 16 倍压缩信号的比特分配结果

Fig.7 The bit allocation results with $CR=16$

观察图5、图7可知,均匀量化时费舍尔信息量越大的频率分量,分配的量化比特也就越多。因此按改进的比特分配方法量化时,如图6、图8所示,即使在压

缩率较大的情况下,频域压缩也较好的保留了原信号费舍尔信息量比较大的频率分量,而仅在原信号费舍尔信息量比较小的频率分量上造成了比较明显的费舍尔信息的损失。

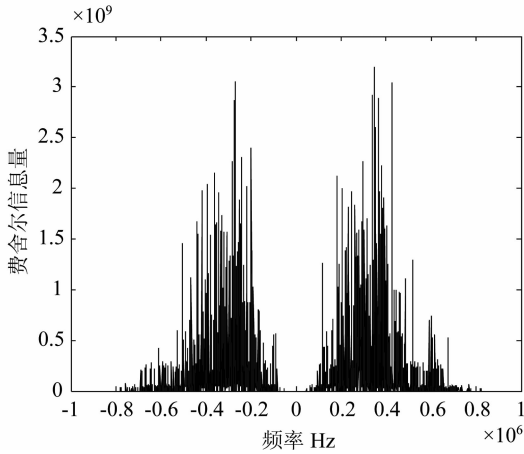


图 8 频域 16 倍压缩信号的费舍尔信息量
Fig. 8 The Fisher-information with CR=16

如图 9 ,在每个信噪比 (x_1 、 x_2 具有相同的信噪比)下做 1000 次蒙特卡洛仿真,与拉格朗日乘法相比,本文提出的比特分配方法 TDOA 估计精度有所下降,可看出,两种比特分配方法 TDOA 的估计精度之差随信噪比的增大而增大,同时与压缩率有关,即压缩率较小时,二者差距较小。

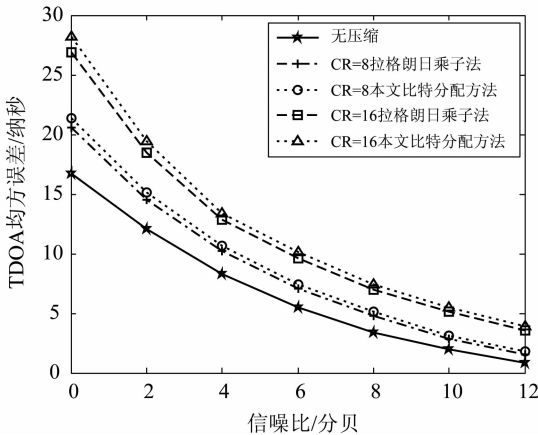


图 9 两种比特分配方法 TDOA 估计均方误差随接收信号信噪比的变化

Fig. 9 The relation between TDOA estimation accuracy and SNRs by using different bit allocation method

其次,综合改进的比特分配方法和仅压缩并传输待定位信号相位谱,分析改进的压缩方法的 TDOA 估计精度。

如图 10 ,在每个信噪比下做 1000 次蒙特卡洛仿真,在相同的压缩率下,本文提出的仅传输相位谱的方

法与传输整个频谱的方法相比,其 TDOA 均方根估计误差更小。

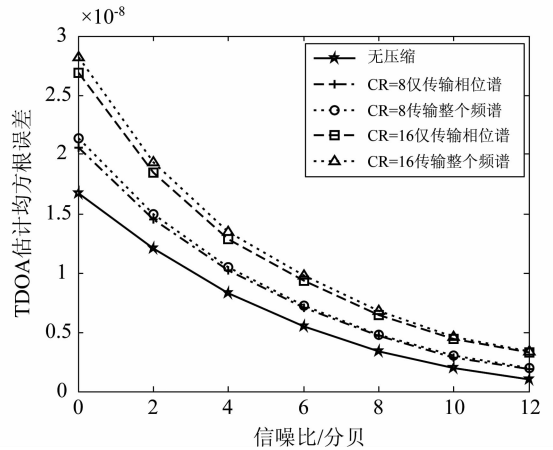


图 10 改进的压缩方法与原方法 TDOA 估计精度随信和信噪比间的关系

Fig. 10 The relation between TDOA estimation accuracy and SNRs by using improved data compression method

5 结论

本文首先梳理了面向到达时差估计的数据压缩方法的研究现状,接着介绍了基于费舍尔信息的数据压缩方法。然后,提出了对基于费舍尔信息的数据压缩方法的改进方法,一是以降低少量 TDOA 估计精度为代价,实现了可变速率量化器的快速比特分配;二是仅压缩和传输待定位信号的相位谱,在信噪比较高时,相同的压缩率下,相比传输整个频谱的方法,提高了 TDOA 估计精度。综上,通过改进数据压缩方法,较好的缓解了 TDOA 定位中到达时差估计这一耗时、耗能的步骤和有限的传感器节点资源间的矛盾。接下来可研究分布式的压缩算法,以期进一步的提高压缩率。

参考文献

[1] Neal Patwari, Alfred O. Hero, III, Matt Perkins, Neiyer S. Correal, Robert J. O’Dea. Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(8) :2137-2148.

[2] Ali H. Sayed, Alireza Tarighat, and Nima Khajehnouri. Network-Based Wireless Location: Challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information [J]. IEEE Signal Processing Magazine 2005, 22(4) :25-40.

[3] 胡来招. 无源定位 [M]. 北京:国防工业出版社, 2004: 165-174, 230-231.

Hu lai zhao. Passive Locating [M]. Bei Jing: National Defence Industrial Press, 2004: 165-174, 230-231. (in

- Chinese)
- [4] Pottie G J, Kaiser W J. Wireless integrated network sensors [J]. Communications of the ACM, 2000, 43 (5): 52-58.
- [5] Landsiedel O, Wehrle K, Gotz S. Accurate prediction of power consumption in sensor networks [C] // Second IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors, 2005, 2005:37-44.
- [6] Fowler Mark L, Chen Mo. Fisher-Information-Based Data Compression for Estimation Using Two Sensors [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2005, 41(3):1131-1137.
- [7] Yu Lei, Liu Xiaoyue, Chen Xin. Data Compression for Emitter Location Finding in Sensor Networks [C] // Fifth International Conference on Information Technology: New Generations, 2008. ITNG 2008, 2008, 1210-1215.
- [8] Fowler Mark L, Chen Mo. Perspectives on data compression for estimations from sensors [C] // The International Society for Optical Engineering Mathematics of Data/Image Pattern Recognition, Compression, and Encryption with Applications IX. v 6315, 2006.
- [9] Pradhan S S, Kusuma J, Ramchandran K. Distributed compression in a dense microsensor network [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, March, 51-60.
- [10] Biscegli M Di, Longo M. Decentralized encoding of a remote source [J]. Signal Processing, 1996, 55(1):15-29.
- [11] Flynn T J, Gray R M. Encoding of correlated observations [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1987, 33(6):773-787.
- [12] Zhang Z, Berger T. Estimation via compressed information [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1988, 34(2):198-211.
- [13] Han T S, Amari S. Parameter estimation with multi-terminal data compression [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(6):1802-1833.
- [14] Lam W, Reibman A R. Design of quantizers for decentralized estimation systems [J]. IEEE Transactions on Communications, 1993, 41(11):1602-1605.
- [15] Fowler M L. Coarse quantization for data compression in coherent location systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2000, 36(4):1269-1278.
- [16] Fowler M L. Decimation vs. quantization for data compression in TDOA systems [C] // Conference on Mathematics and Applications of Data/Image Coding, Compression, and Encryption III, Proceedings of SPIE, San Diego, CA, 2000, 4122:56-67.
- [17] Fowler M L. Non-MSE wavelet-based data compression for emitter location [C] // Mathematics and Applications of Data/Image Coding, Compression, and Encryption IV, In Mark S. Schmalz (Ed.), In Proceedings of SPIE, San Diego, CA, 2001, 4475:13-22.
- [18] Fowler M L, Chen M. Integer optimization methods for non-MSE data compression for emitter location [C] // Mathematics and Applications of Data/Image Coding, Compression, and Encryption V, In Mark S. Schmalz, (Ed.) Proceedings of SPIE, Seattle, WA, 2002, 4793:188-195.
- [19] Fowler M L, Hu X. Signal models for TDOA/FDOA estimation [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2008, 44(4):1543-1550.
- [20] Chen M, Fowler M L. Data Compression for Multi-Parameter Estimation for Emitter Location [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2010, 46(1):308-322.
- [21] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C] // Proc. of the Hawaii Conf. on System Science, Jan. 2000.
- [22] 蒋文美, 王玫. 一种基于 TOA 的 UWB 直接-Taylor 复合定位算法 [J]. 桂林电子科技大学学报, 2006, 26(1):1-5.
- Jiang Wen mei, Wang Mei. Pseudorandom Code Correlation-based UWB Multi-points Cooperation Location Algorithm [J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2006, 26(1):1-5. (in Chinese)

作者简介



李协(1986-),男,甘肃临夏人,硕士研究生,研究方向:基于传感器网络的无源定位技术。E-mail:lxieu@yahoo.cn



张效义(1966-),男,河南尉氏人,教授,硕士研究生导师,研究方向:通信信号处理、无线传感器网络。



汪子嘉(1985-),男,重庆垫江人,硕士研究生,研究方向:基于传感器网络的无源定位技术。