

多簇传感器网络中的联合判决

付新明

(河南中烟工业有限公司洛阳卷烟厂,河南 洛阳 471003)

摘要:提出了一个多簇的三层无线传感器网络,其中每个传感器独立地对二元目标进行检测并将判决结果发送给各自的簇头,由簇头对各个传感器发送的信息进行融合判决,并将判决结果发送给判决中心;在判决中心处,经非相干检测和最大值联合判决法得到对被观测物状态的最终判断。

关键词:无线传感器网络;分布式;多簇;联合判决

本文引用格式:付新明. 多簇传感器网络中的联合判决[J]. 兵器装备工程学报,2016(6):132-134.

Citation format:FU Xin-ming. Fusion Decision of Multi-Cluster Based Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2016(6):132-134.

中图分类号:TP183

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)06-0132-04

Fusion Decision of Multi-Cluster Based Wireless Sensor Networks

FU Xin-ming

(Luoyang Cigarette Factory China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Luoyang 471003, China)

Abstract: We built a three-level WSN with multi-cluster. Explicitly, each of the sensors senses and detects the binary observed event's state independently, and transmits the local decision to its cluster-head. After achieving the local decisions, all the cluster-heads make their overall decisions and pass them to the fusion center. At the fusion center, noncoherent detection and selective fusion rule are employed for the final fusion decision of the observed source event.

Key words: wireless sensor network; three-level; multi-cluster; fusion decision

得益于电子技术和通信技术的迅速发展,无线传感器网络在最近的几十年得到了长足的进步^[1-4]。分布式传感器网络通常由大量的、廉价的传感器组成,且每个传感器都具有感知能力、计算能力和通信能力。随着对传感器网络要求的提高,人们已经不再满足于通过单个传感器对环境或观测物进行感知,通过大规模无线网络的建设,能有效地提高感知范围的广度和感知结果的准确性。通过传感器与判决中心的联系,判决中心可以综合考虑不同传感器发送的信息,对被观测物进行联合判决,从而完成相对复杂的运算和分析。由于无线传感器网络具有自适应快速建网、不受有线网络约束等特点,因而可以广泛应用于军事探测、环境保护、森林防火以及医疗服务等各个方面^[5-6]。根据传感器网络是

否具有簇头,传感器网络可以分为无簇传感器网络和有簇传感器网络两种。无簇传感器网络是指无线传感器网络中的每个传感器直接把接收到的数据或做出的判断直接传输给判决中心。这是一种最简单的传感器拓扑结构,可以有效降低系统的复杂度。但是,对于距离判决中心比较远的传感器,直接向判决中心发送信息需要消耗大量的能量,从而导致传感器的有效工作时间缩短^[7]。有簇传感器网络指的是多个传感器组成一个簇,每个簇中选取一个簇头。簇中的传感器将接收到的信息传送给簇头,簇头将所有成员的信息进行聚合后发送给判决中心,从而降低整个系统的发送能耗。

在无线传感器网络中,联合判决算法对判断的准确性和时延性有着重要的作用。如何快速高效对传感器上传的信

息进行融合是一个热点问题。在文献[8]给出了在各传感器相互独立的条件下最优联合判决准则。考虑到传感器能量受限的问题,文献[4]研究了对应最优判决表现情况下,传感器的位置及数量优化。在非理想信道的情况下,文献[2]给出了三层传感器网络的联合优化,其中包括判决中心处的最优门限和传感器中的最优门限。但是这种算法需要很高的系统复杂度完成大量的运算和信道估计。相比于相干检测,非相干检测不需要进行复杂的信道估计,可以有效的降低系统的复杂度和延迟时间。对于侧重系统复杂度的传感器网络系统,非相干检测可以快速有效的对被观测物进行判断。目前,针对具有多簇结构的非相干传感器网络的研究还比较少。

在本文中建立了一个3层的多簇传感器网络,应用非相干检测的方法对观测物的状态进行判断。其中多个传感器同时观测同一个被观测物,并将感知的结果发送给簇头。簇头对接收到的信息进行融合判决,并将判决结果发送给判决中心。最后,由判决中心对被观测物进行最终的判决。研究表明:多簇3层无线传感器网络可以有效地对被观测物的状态进行相对可靠的判决,保证了系统的低复杂度和低时延性。

1 系统模型

如图1所示,无线传感器网络结构由3层构成,其中包括传感器感知层、簇头信号融合层以及判决中心联合判决层3部分。在这个无线传感器的模型中,假设被观测物有两种状态,分别为 H_0 和 H_1 。无线传感器网络中共有 $N \times L$ 个传感器相对独立的观察同一个被观测物。这些传感器被平均分为 N 个簇,其中每个簇包含 L 个传感器,每个传感器将各自的判断结果传送给各自的簇头。簇头对接收到的信号进行融合判决,并将判决结果发送给判决中心。在判决中心处,采用举手表决的联合判决方法获得最终的判决。

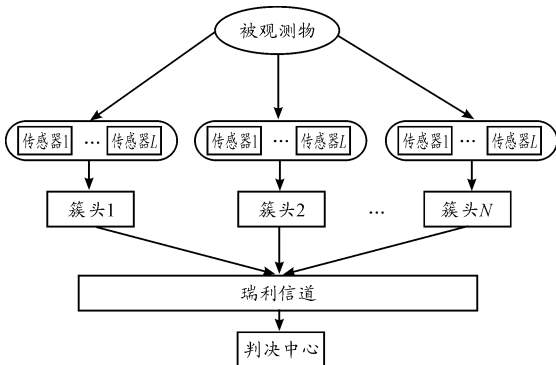


图1 多簇3层传感器网络结构

以湿度传感器为例,当被观测物的湿度低于设定值时,其状态为 H_0 ,当被观测物的湿度高于设定值时,其状态为

H_1 。假设状态 H_0 对应感知信号的幅度为 A_0 ,状态 H_1 对应信号的幅度为 A_1 。假设 $N \times L$ 个传感器都是相对独立的进行观测,不失一般性,假设其中第 l 个传感器的接收信号为

$$r_l = A_m + n_l, l = 1, 2, \dots, L \quad (1)$$

n_l 为对应第 l 个传感器的高斯噪声,其分布的PDF为

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(x-m_x)^2/2\sigma^2} \quad (2)$$

其中 m_x 为随机变量的均值, σ^2 为随机变量的均方差。

由式(2)可知,传感器做出错误判决的概率由噪声方差决定,并且可以进一步写为

$$P_e = P(H_1)P(H_0 | H_1) + P(H_0)P(H_1 | H_0) \quad (3)$$

其中 $P(H_0 | H_1)$ 表示在被观测物状态为 H_1 的情况下,传感器判断为状态 H_0 的概率, $P(H_1 | H_0)$ 表示在被观测物状态为 H_0 的情况下,传感器判断为状态 H_1 的概率。

当每个传感器完成对被观测物的状态判决后,传感器通过二元频率调制(BFSK)将当地判决发送给簇头。假设分配给每个簇 L 个传感器的传输信号的时间总和为 T_s 秒,对应每个传感平均得到 T_s/L 秒。在二元频率调制过程中应用两个正交的频带,其中心频率为 $F = \{f_0, f_1\}$ 。相比于其他调制方式,频率调制可以在接收端较容易的采用非相干合并的方法,从而不需要进行复杂的信道估计,保证系统的低复杂度和低延时性。在每个簇中,经过频率调制的信号按照事先约定的顺序经由 L 个传感器将当地判决的结果传送给簇头,每个传感器分得的发射时间为 T_s/L 秒。假设其中第 l 个传感器, $l = 1, 2, \dots, L$,在一个发射时间内发射的信号为 $s_l(t)$,且信号 $s_l(t)$ 经由独立同分布的瑞利衰落信道传送到簇头。在本文中,假设每个传感器的发射能量都相同。

在簇头处,其接收的信号可以表示为

$$r(t) = \sum_{l=1}^L h_l s_l(t) + n(t) \quad (4)$$

其中 h_l 为第 l 个传感器对应判决中心的信道增益, $n(t)$ 为接收端的高斯噪声。

在簇头处,采用非相干判决的方法,即能量判决法对传感器的信息进行融合。经过非相干操作后,信号的相位信息被忽略,只留下接收信息的能量大小。对应二元观测物和 L 个簇头传来的信号,经非相干操作后得到一个 $2 \times L$ 的判断矩阵 R 。以矩阵 R 的第一行第一列元素 R_{00} 为例,它表示第1个传感器对应状态 H_0 的能量大小。随后采用最大选择法进行联合判断,即选取矩阵 R 中能量最大的元素,若此最大的元素在第一行,则簇头判决被观测物状态为 H_0 ,否则判断状态为 H_1 。当各个簇头做完判决后,每个簇头按照频率调制的方法,将判决结果发送给判决中心。在无线传感器网络中,假设共有 N 个簇头,其中第 n 个簇头的发射信号为 s'_n 。因此在判决中心处,其接收到的信号为:

$$r'(t) = \sum_{n=1}^N h'_n s'_n(t) + n(t) \quad (5)$$

其中 h'_n 为第 n 个簇头对应判决中心的信道增益, $n(t)$ 为判决中心的高斯噪声。在判决中心处, 同样采用非相干判决的方法, 即对不同时段和频率的信号进行能量检测, 得到判决矩阵 R' 。矩阵 R' 大小为 $2 \times N$, 选取 R' 中最大的元素, 若该元素属于第一行, 则判决中心判断被观测物属于状态 H_0 , 若该元素属于第二行, 则判决中心判断被观测物属于状态 H_1 。

2 系统特性

首先, 在多簇 3 层分布式传感器网络中, 传感器将感知到的信号发送给簇头, 簇头对接收到的信号通过非相干检测和最大选择联合判决准则进行判断。簇头再将判断结果发送给判决中心, 由判决中心对被观测物进行最终的判决。通过簇头将传感器的感知信息进行初步融合并再次发射可以降低整个传感器网络的发射能量, 从而延长传感器的有效工作时间。在传感器数目一定的情况下, 增加簇头的数量可以提高判决中心对传感器信息的收集。另一方面, 增加簇头的数量同时会增加系统的复杂度, 增加最终判决的时延。因此, 选择合适数量的簇头对研究至为关键。第二, 采用频率调制的方式将传感器的信息发送给簇头和判决中心。相比于其他调制方式, 频率调制可以在接收端采用非相干检测的方法, 不需要进行复杂的信道估计, 从而降低系统的复杂度。第三, 在簇头和判决中心处, 采用了低复杂度的最大选择联合判决准则进行判决, 可以快速的对被观测物的状态进行判决。

3 仿真结果

在本文中, 通过 Matlab 仿真来探讨和分析多簇 3 层传感器网络模型的判决表现。在仿真过程中, 假设传感器的观测只受到高斯噪声的影响。传感器发射到判决中心的信号受到瑞利衰落和高斯噪声的影响。在以下的仿真结果图中, P_E 表示判决中心对观测物的最终判决的错误率。

在图 2 中, 重点观察对应不同数目的簇头, 判决中心判决错误率的变化。在仿真过程中, 假定被观测物等概率的属于状态 H_0 和 H_1 。共有 40 个传感器相互独立的观察同一个观测物, 每个传感器观测的信噪比均假设为 5 dB。每个传感器的判决门限为 $T_{nd} = 0.5$, 即当接收到的信号能量小于 0.5 时, 传感器判断为状态 H_0 , 当接收到的信号能量大于 0.5 时, 传感器判断为状态 H_1 。40 个传感器被均匀地分配给每个簇, 当簇头的数目 N 发生变化时, 每个簇内传感器的数量也跟随变化。通过仿真结果可以看到, 当传感器到判决中心的信道信噪比从 0 dB 增加到 20 dB 时, 系统的联合判决可靠性有了明显提高。同时, 当簇头的数目从 2 增加到 10 时, 虽然传感器的数量维持在 40 不变, 但是判决中心的错误率有了明显下降。增加簇头的数量, 一方面, 可以更有效的利用传感器的感知信息。另一方面, 也会增加系统的复杂度。

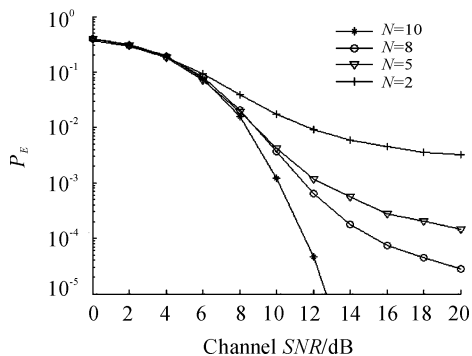


图 2 不同簇头数目下判决中心的错误率

在图 3 中, 重点研究传感器处的信噪比对判决中心判决结果的影响。在仿真过程中, 20 个传感器相互独立的对被观测物进行观测, 且被分为 4 个簇, 即每个簇包含 5 个传感器。每个传感器的信噪比分别设定为 -3 dB, 0 dB, 5 dB 和 10 dB。传感器到簇头的信道为相互独立的瑞利信道, 其信道衰落为 5 dB。每个簇头对接收到的信号进行融合判决后发送给判决中心。在判决中心处, 信道的信噪比从 0 dB 升到 16 dB。从仿真结果可以清楚的看出, 增加传感器处的信噪比可以有有效的增强传感器的判决准确率, 进而提高判决中心的判决可靠性。相应的, 提高传感器与判决中心处信道的可靠性也可以对判决中心的判决准确性带来明显的提升。因此, 判决中心处的最终判决既受到传感器的影响, 也受到簇头和判决中心的影响, 其优化过程应综合考虑这两个方面。

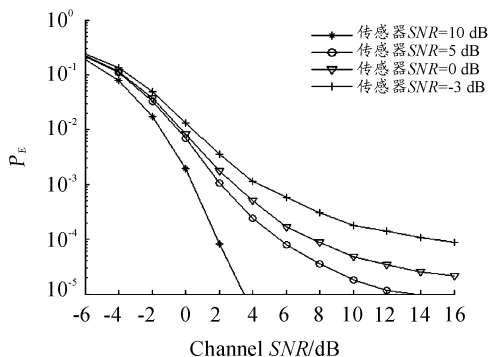


图 3 对应不同传感器信噪比的判决中心错误率

4 结论

在 3 层多簇传感器网络中, 每个传感器相对独立的对被观测物进行观测并将自己的感知结果发送给各自的簇头。每个簇头根据接收到的信号, 做出融合判决, 并通过频率调制的方式将判决结果发送给判决中心。在判决中心处, 通过非相干能量检测和最大选择联合判决的方法得到对被观测物的最终判决。通过仿真结果可以看到, 在合理的噪声干扰和通信条件下, 多簇 3 层无线传感器网络可以达到较为理想的判决表现。同时由于采用了低复杂度的非相干判决的方法, 多簇 3 层传感器网络可以保证低复杂度和低时延的特性。

(下转第 173 页)

的整体作战指挥效能^[10],才能设法避免或降低对防御作战效能造成的影响,最大限度地发挥信息化条件下防空部队联合战役的应有效能。

参考文献:

- [1] 陈杨,胡晓,刘书杰. 战场电磁环境对指挥信息系统的干扰分析[J]. 四川兵工学报,2010,31(1):60-62.
- [2] 余辉,李冬,张超,等. 复杂电磁环境对电子战作战指挥系统的影响分析[J]. 电子信息对抗技术,2009,24(5):47-50.
- [3] 周国祥,古军峰. 指挥自动化系统电子对抗效能模糊综合评估[J]. 舰船电子工程,2008,28(6):73-76.
- [4] 王朝田,任海泉,严大鹏,等. 联合作战基础知识[M]. 北京:总参军训与兵种部,2009.
- [5] 闫永玲,张志峰,张庆波. 电子对抗条件下地空导弹武器

系统效能评估[J]. 火力与指挥控制,2014,39(7):78-81.

- [6] HONG H, HAN S, CHOI J. Simulation of the Spinning Concentric Annular Ring Reticle Seeker and an Efficient Counter-countermeasure[C]. Proc, SPIE, 1997.
- [7] С. Г. БЕГЛАРЯН. Оценка вклада сил и средств РЭБ в эффективность боевых действий воинского формирования ПВО[J]. Военная мысль, 2013 (11): 48-53.
- [8] 李玉广,项国喜. 机载电子对抗系统效能评估分析[J]. 国防科技,2010,31(2):18-20.
- [9] 王超孙,玉涛,吴超. 复杂电磁环境下地空导弹系统生存能力评估[J]. 舰船电子工程,2009,29(8):53-57.
- [10] 李泳,王磊. 复杂电磁环境下炮兵作战指挥效能评估研究[J]. 舰船电子工程,2013,33(2):94-95.

(责任编辑 杨继森)

(上接第 134 页)

参考文献:

- [1] SUSHMITA R, ARNIYA N, IVAN S. Fully Secure Pairwise and Triple Key Distribution in Wireless Sensor Networks Using Combinatorial Designs[C]//Proceedings IEEE INFOCOM. USA: IEEE Press, 2011. 326-330.
- [2] NING P, LIU A, DU W L. Mitigating DoS Attacks Against Broadcast Authentication in Wireless Sensor Networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2008, 4(1): 1-35.
- [3] SAMIR G, TOMASZ I. Prediction Based Monitoring in Sensor Networks: Taking Lessons from MPEG[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2001, 31(5): 82-98.
- [4] 艾春丽,张凤登. 无线传感网能量监测方法研究[J]. 自

动化仪表,2007,28(12):5-7.

- [5] 霍宏伟. 基于室内无线传感器网络射频信号的老年人跌倒检测研究[J]. 电子学报,2011,39(1):195-200.
- [6] 马华东,陶丹. 多媒体传感器网络及其研究进展[J]. 软件学报,2006,17(9):2013-2028.
- [7] KLOUB H, HOFFMANN D. A Micro Capacitive Vibration Energy Harvester for Low Power Electronics [C]. Power MEMS. 2009:165-168.
- [8] IYER R, KLENROCK L. QoS Control of Sensor Networks [C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications New York IEEE 2003:517-521.
- [9] 杨余旺,于继明,赵炜,等. 单跳无线传感器网络能量分析计算[J]. 南京理工大学学报,2007,31(1):81-84.

(责任编辑 杨继森)