

储粮害虫声信号的检测和应用*

郭敏¹⁾ 尚志远

(陕西师范大学物理与信息技术学院应用声学研究所 西安 710062)

摘要 与传统的储粮害虫检测方法相比,害虫的声测报技术作为一种快速、实用的新方法,正日益受到重视。近年来,这一领域在微电子设备及计算机技术的推动下,取得了很大进展。已由最初在小容器谷物样品中监测钻蛀为害粮粒害虫声音的技术,发展到目前实仓多点监测储粮害虫声音的微机监控系统,实现了对储粮害虫侵害程度的量化,通过声信号识别害虫种类方面的工作也在进一步的研究中。文章综述了储粮害虫声测报领域的发展历程,最新进展及存在问题。

关键词 储粮害虫,声信号检测,种群数量,声特征信息

DETECTION AND APPLICATION OF ACOUSTICAL SIGNALS OF PESTS IN STORED GRAIN

GUO Min SHANG Zhi Yuan

(College of Physics and Information Technique, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract Compared with traditional inspection methods, the technique of detecting acoustic signals of pests in stored grain is a quick and practical method which is attracting increasing attention. In recent years much progress in this field has been made due to improvements with microelectronic and computer techniques. The technology has advanced from the detection of acoustic signals of pests that feed inside grain kernels in small vessels to automated computer based acoustical monitoring systems that can quantify the infestation by pests. Identification of the species of grain beetle is also under investigation. The history, latest developments and unsolved problems of this technology are reviewed.

Key words pest in stored grain, acoustical signal detection, population levels, sound feature information

1 引言

20世纪20年代,人们已考虑希望将声学技术作为一种有效工具应用于农业,但因受当时声技术条件的限制和对昆虫习性知识的缺乏,制约了声技术这一有效工具在昆虫学上的实际应用。直到20世纪80年代出现了微电子技术,它与声学技术相结合,开拓了一个崭新的昆虫声学时代,向人们展示了一个美妙诱人的新领域。20年来,各国学者在昆虫声学这一交叉学科取得了许多可喜成就,研究领域包括:农业环境的远距离监控;声技术分析农业收获物质量;声诱捕蚊子、鼯鼠、蟋蟀;利用鸣声特征进行种类鉴别,用声发射技术探测弯曲木头样品状态;检

测森林中白蚁;通过检测隐匿于水果和谷物中害虫的声信息对害虫侵害程度进行量化等等,而储粮害虫声测报技术始终是昆虫声学这一领域中研究的热点,美国在这一研究方向处于领先地位,已由最初在小容器谷物样品中监测钻蛀为害粮粒害虫声音的技术,发展到目前实仓多点监测储粮害虫声音的微机监控系统。本文综述储粮害虫声测报技术的发展历程,最新进展及存在的问题。

* 国家自然科学基金(批准号:39870467)资助项目
2000-07-06收到初稿,2000-08-14修回

1) 陕西师范大学计算机科学学院工作,现在陕西师范大学应用声学研究所攻读博士学位

2 储粮害虫声测报技术及应用现状

据联合国粮农组织对世界收获后粮食损失调查初步估计为 10%,即使在美国,每年储粮损失也在十亿美元以上.在发展中国家,由于粮食储藏不当,因虫、霉、鼠、雀造成的经济损失更为惊人,进一步降低收获后粮食的损失应列为优先考虑的问题.储粮害虫是储粮损失的一个重要原因,如何早期发现及准确定位害虫发生部位,已成为安全储粮工作中一项重要内容.

2.1 储粮害虫声信号的检测

传统的储粮害虫检测方法是采取人工抽样的方法,即人工抽取粮样,经过筛后分析虫种和虫量,这样,在粮粒堆积的空间多次分层取样,工作量极大,劳动强度很高,而样本过筛后从杂质中分析害虫既费时又存在着一定的误差,因无法获得大量样本从而无法对害虫发生趋势作出分析预测.针对这一问题,国内外学者极力寻找一种快速、准确、灵敏度高又对粮食无害的检测方法,曾有人用 X 射线照射谷物以求发现害虫^[1],有人用红外线检测害虫,也有人通过分析害虫发出的 CO₂ 气体进行检测^[2],但这些方法或费用昂贵或不准确或费时,皆不能有效使用. Brain 是最早使用声信息技术检测隐匿于存储产品中钻蛀害虫这一方法的科学家^[3],他用机电设备检测到了苹果及谷物中害虫的吃食声,证明了这一方法的可行性.由于声检测技术显示了其独一无二的优点——轻便、简单、快速、价廉、灵敏度高,许多学者纷纷沿 Brain 的思路在这一领域进行了大量研究^[4-7],研究范围扩大到不仅检测谷物害虫,也检测水果害虫,用于森林中白蚁早期发现等方面.然而这一时期的研究因受传感器噪音、环境噪音、设备噪音和信号噪声比等方面的限制,并没有得到实际应用.直到 80 年代初,有了灵敏度较高的检测器和合适的带通滤波器,消除了电子噪音并进行了信号放大处理,这一领域的工作才有了新的进展.

1988 年, Vick 在实验室检测了玉米、大米、小麦三种样品中米象等幼虫吃食及爬行声信号^[8],如图 1 所示.麦克风采集的幼虫声信号由 B & K 公司生产的 Model 2610 低噪音放大器放大 60 dB,可用耳机和喇叭对声监听,用示波器进行监视,并通过一个可变带通滤波器滤掉噪音后送 Nicolet 660 双通道快速傅里叶变换分析器进行谱分析,分析幅度,对大于给定阈值的振幅送计算机计数,并存储、打印.实

验测得三种样品中的害虫吃食声最高频率分别为 587 Hz、1475 Hz 和 1200 Hz,发现害虫声数目直接同谷物中害虫数量有关,反映了谷物受侵害程度.为消除环境噪音,要求一个安静的检测环境,实验是在消声室内进行.

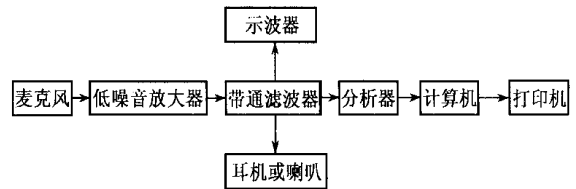


图 1 储粮害虫声信号检测框图

Hagstrum 等人研制成功了一种粮仓害虫连续自动监视系统^[9,10],检测框图如图 2 所示.实验在一个装有 55 gal(加仑)[1 gal(美国) \approx 3.785 L]小麦的钢筒中进行,垂直放置 4 根电缆,每根电缆上安装有 4 个压电麦克风,各麦克风间隔 15 cm,用一个 B & K 公司生产的 8 通道多路转换开关一次接通 8 个麦克风,对害虫声音进行 24 h 监测,因为多路转换开关只有 8 路通道,监测所有 16 个麦克风需要 48 h,来自压电麦克风的声信号经 B & K 生产的 Model 2610 放大器放大后送分析器,一台 IBM 兼容机存储每 10 s 间隔内声数目,由计算机程序控制多路转换器循环接通每 8 个麦克风,并由程序控制计数器重新计数,将此系统用于实仓中,连续不断地进行微机远距离监视,代替以前人工定期检查,其优势是不言而喻的.至此,人们实现了粮仓害虫取食、活动声音的监测,能够判断粮堆害虫“有”或“无”,粗略估计害虫“多”与“少”程度的同时,又面临一个新的需要解决的问题,即如何对害虫侵染程度进行量化,如何准确快速记录害虫的种群数量.

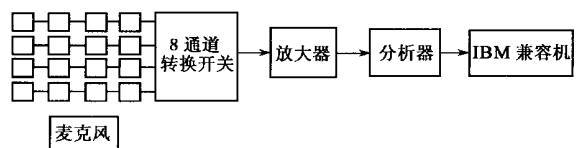


图 2 储粮害虫声信号检测框图

2.2 量化储粮害虫种群数量

2.2.1 检测器捕获害虫,利用压电传感或光电传感技术实现害虫数量自动记录

1992 年有人研制储粮害虫数量微机监测系统,其系统设计原理为:将粮虫陷阱检测器插入粮堆采样,检测器在粮堆下插过程中有害虫和杂质(破碎粮粒、砂土、草籽)会跌入检测器,为避免传感器对杂质误检造成误差,用一个粮虫杂质分离器将粮虫和杂

质分离,分离的粮虫成单头离散状态析出,进入压电传感器,实现准确记录粮虫数量,数据送入微机存储,可对粮虫的分布、数量进行检索、分析、统计及打印.该技术可实现多点同时采样粮虫种群数量,实现100 m以上动态微机自动监测.1996年,Shuman采用同样方法捕获害虫,通过红外传感器探头计数,实现了害虫数量的微机实时监测^[11],并设计出适合于不同粮仓使用的监测系统,以上两种害虫自动监测系统均在粮堆不同高度预埋多个探头,实现全方位检测.

2.2.2 声信号确定害虫数量

早期的研究已发现谷物中害虫数量与所接收的声信号数目有直接联系,但却只能对侵害程度作一粗略估计.Hagstrum对赤拟谷盗害虫做了一系列的实验,实验装置同文献[9],在5bsh(美式单位中,1bsh=35.238L)小麦中放16个麦克风,用一个麦克风时,10s间隔内检测概率为12%(每5bsh中10只害虫),升到44%(每5bsh中80只害虫),然后缓慢升到66%(每5bsh中640只害虫).每5bsh小麦中用三个麦克风放40只害虫,或4个麦克风放20只害虫,或5个麦克风放10只害虫,或12个麦克风放5只害虫,检测害虫种群数量的概率均为90%,检测害虫的概率不但与其种群数量有关,还与所用麦克风的数目、各麦克风频率、害虫与麦克风之间的距离有关.这一自动系统能估计小麦中距麦克风10.5—18.5cm范围内赤拟谷盗的种群数量.Hagstrum的实验存在一定缺陷,因为它是基于测量害虫所产生的声的数目来判断害虫数量,而谷物本身是一种强吸收声波的媒质,它相当于一个低通滤波器,害虫吃食声只能通过谷物颗粒间隙这一声通道进入传感器,害虫声数目随虫与麦克风间距离增大呈对数形式减少,从而限制了检测害虫的范围.

Hicking从声传播角度进行了一些辅助性的研究^[12,13],对玉米等6种谷物的声速及声衰减系数进行了实验室测定,得出衰减系数与频率的平方根成正比的结论,并将谷物分别放入空气、氧气、二氧化碳三种不同气体中测试,认为声音原则上是通过谷物间隙的空气通道进行传播.

1993年,Shuman等人试图采用新的方法将谷物中声衰减这一因素造成的影响减到最小^[14],提出了“声探测定位昆虫检测器”模型(以下称ALFIDI),ALFIDI依据的原则是声音传播时间与传播距离成正比,检测框图如图3所示.这一模型包括一个76cm×5cm×4cm的谷物样品容器,

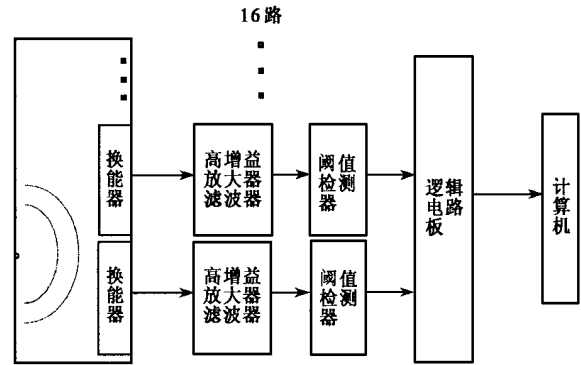


图3 16路ALFIDI模型检测框图

其中可装1kg谷物样品,在76cm×4cm一面上呈直线状安装16个压电声换能器,每个换能器直径为2.8cm,彼此间隔2cm.16个换能器的声输出信号接入一块有16路通道的电子线路板,将信号放大80dB,滤波(1—10kHz带通),并进行阈值检测.16路通道的阈值接入一块远距离逻辑电路板,其上集成了26块集成电路逻辑芯片,实现捕获、辨认、寄存第一二个最先接收到阈值的通道所对应的换能器,经接口电路送入计算机,在每一个特定的时间间隔结束时,计算机中ALFIDI软件收集、汇总、分析数据,确定害虫的空间轨迹.利用传感器阵列中相邻两传感器对某一声音的识别,得到两传感器的时间延迟数据,这样在理论上定位谷物容器中声源位置是可行的,然而因低信噪比及声在不均匀介质中传播到达阵列中不同换能器时产生的失真不同,使得这些时间延迟数据具有很大的易变性而无法使用,ALFIDI也要求声源的位置与换能器的距离小于阵列中两相邻换能器距离的2倍,结果,ALFIDI模型只能够很好地检测谷物样品中仅有一只害虫的情况,多于一只害虫时,计数会不准确,原因是由于聚集在一起的害虫,其声音不易分离.由于这一近似模型很难区别多个害虫的情况,导致了第二代ALFIDI模型的出现^[15],它与第一代有相同的缩写,但却是不同的名字:“声探测昆虫特征检测器”(以下称ALFID2).重新设计ALFIDI模型的主要意图是希望改进声传播时间延迟数据,以便更好地解决声源定位问题.它采用自相关技术,能够很好地提取混有不相关噪音的声信号的时间延迟信息^[16],部分解决了分辨不同声源的问题.分别用3个分开一定距离的传感器和2个分开一定距离的传感器100%地检测到2只害虫,用一个传感器70%检测到2只害虫.总之,这一算法用于分辨小麦样品中随意位置两只害虫产生声信号的概率可达90%,对小数量害虫的

检测准确率较高.由于世界各国对出口粮食需快速评定其等级,美国谷物检验储备局(GISPSA)规定目前对谷物样品分级的标准是每1 kg样品中没有或仅一只害虫定为“无扰害”,每1 kg样品中多于1只害虫定为“有扰害”,Shuman的研究成果已实际用于出口谷物的评级,为消除环境噪音,测试工作可在专门设计的屏蔽箱中进行^[17,18].

一个微机控制自动监视害虫种群数量的系统已成功用于美国堪萨斯州等地农场的粮仓^[19],7根柔性电缆(每根电缆装20个传感器,每个传感器相互间隔15 cm)均匀地沿粮仓某一横截面的直径方向安装,能检测到谷蠹、赤拟谷盗、米象等不同种类害虫,害虫的声数目与种群数量密切相关.

Mankin在对米象害虫的声信息进行时域和频域分析时,发现声信号在时频特征上能够反映其种群的特征,将这一特征作为样板,每检测到这样一个特征就进行一次计数,实现对害虫数量计数.

综上所述,中外学者在记录害虫种群数量方面进行了大量研究,取得了一些进展,但因受各种因素的干扰,在准确记录大量害虫数量方面还不尽人意,更待有新的突破.在解决了提取害虫声信号用于测虫的有无和测虫数量的同时,人们开始将目光转向通过声信息识别害虫种类工作的研究.

2.3 储粮害虫物种或类群的声识别及分类

这方面的研究已发现,储粮害虫不同物种活动行为及体能存在着明显差异,其种群在形态特征、生物功能、生理代谢、行为及生态适应性方面存在着反映本身生物学属性的信息.在幼虫和成虫不同阶段,其爬行声和吃食声各不相同,尤其在时域特征上截然不同^[20].人们由此认为不同物种声信息一定存在差异,希望将储粮害虫声特征作为种类鉴别的一种手段,为有针对性地采取灭虫措施提供依据.然而这一方面工作的进展较为缓慢,因其涉及以下较为棘手的问题:如何处理同一种类害虫在不同谷物中声特征信息不同问题,如何解决同一种类害虫在不同生长阶段声特征不同问题,如何考虑声特征信息与环境温度的依赖关系,如何分辨复合种类、多数量害虫的声信息等等.储粮害虫物种识别问题的解决,有利于及早确定防治对策,最大限度地降低害虫防治用药量,减少用药次数,提高防治效果,达到科学保粮的目的.

3 结束语

储粮害虫声信号检测技术方兴未艾,到目前为止,声测报虫点技术已进入实仓应用阶段,但对声测报种群数量、虫种类别方面的研究还刚刚开始,许多空白点正期待着不同学科的学者们联手攻关解决,因此,它仍然是目前非常活跃的研究领域.应当看到,一旦人们掌握了多数量、复合种类害虫声信息的提取、分离、辨别技术,就能对储粮害虫进行早期发现,准确用药,使储粮损失降到最低.这一研究工作具有较大的经济效益.我们相信,在中外学者坚持不懈的努力下,储粮害虫声测报技术将会逐渐走向更加成熟和实用.

参 考 文 献

- [1] Milner M, Lee M R, Katz R. J. *Econ. Entomol.*, 1950, 43 :933
- [2] Bruce W A, Street M W, Semper R C. *USDA, Advances in Agric. Techn.*, South, 1982, Series 26
- [3] Brain C K. *Ann. Univ. Stellenbosch Ser.*, 1924, A2 :45
- [4] Adams R E, Wolfe J E, Milner M *et al.* *Science*, 1953, 118 :163
- [5] Bailey S W, McCabe J B. *J. Stored Prod. Res.*, 1965, 1 :201
- [6] Street M W. *J. Ga. Entomol. Soc.*, 1971, 6 :72
- [7] Webb J C, Landolt P J. *J. Environ. Sci. Health, part A, Environ. Sci. Eng.*, 1984, 19 :367
- [8] Vick K M, Webb J C, Weaver B A *et al.* *J. Econ. Entomol.*, 1988, 81 :1487
- [9] Hagstrum D W, Vick K W, Webb J C. *J. Econ. Entomol.*, 1990, 83 :625
- [10] Hagstrum D W, Vick K W, Flinn P W. *J. Econ. Entomol.*, 1991, 84 :1604
- [11] Shuman D, Coffelt J A, Weaver D K. *Transactions of the ASAE*, 1996, 39 :1773
- [12] Hicking R, Wei Wei. *Appl. Acoust.*, 1995, 45 :1
- [13] Hicking R, Wei Wei, Hagstrum D W. *Appl. Acoust.*, 1997, 50 :263
- [14] Shuman D, Coffelt J A, Vick K W *et al.* *J. Econ. Entomol.*, 1993, 86 :933
- [15] Shuman D, Weaver D K, Mankin R W. *Appl. Acoust.*, 1997, 50 :279
- [16] Spiesberger J L, Fristrup K M. *Am. Naturalist*, 1990, 135 :107
- [17] Mankin R W, Shuman D, Coffelt J A. *J. Econ. Entomol.*, 1996, 89 :1301
- [18] Mankin R W, Sun J S, Shuman D *et al.* *Appl. Acoust.*, 1997, 50 :309
- [19] Hagstrum D W, Flinn P W, Shuman D. *J. Econ. Entomol.*, 1996, 89 :211
- [20] Coggins K M, Principe J. *IEEE Int. Conf. Neural Networks Conf. Proc. IEEE, Piscataway, NJ, (USA)*, 1998, 3 :1760