

声场聚焦在数字语音驱鸟器阵列中的应用*

伟利国^{1,2†} 张小超^{1,2} 范智³ 周立明¹

(1 中国农业机械化科学研究院 北京 100083)

(2 土壤植物机器系统技术国家重点实验室 北京 100083)

(3 北京联合大学特殊教育学院 北京 100075)

摘要 鸟害已成为某些农作物的主要经济损失,为了提高数字语音驱鸟器驱赶害鸟的效果,本文给出了数字语音驱鸟器阵列系统设计和声音链声场聚焦实现方法,并详细说明了硬件电路的实现。阐述了声场聚焦的原理,通过调整声音链阵列加权实现了声场聚焦,达到预期效果。

关键词 数字语音, 驱鸟器, 声场聚焦

Application of acoustical hotspot generation in the audio bird repellent array

WEI Li-Guo^{1,2} ZHANG Xiao-Chao^{1,2} FAN Zhi³ ZHOU Li-Ming¹

(1 Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083)

(2 State Key Laboratories of Soil-Plant-Machine System Technology, Beijing 100083)

(3 Special Education College of Beijing Union University, Beijing 100075)

Abstract Birds can cause major economic loss to a number of agricultural crops, including fruits and nuts. Sonic scaring devices are useful tools for repelling birds from agricultural and industrial settings. In order to enhance the effect of bird repellent, this paper shows the system design of digit audio bird repellent array and the method of acoustical hotspot generation. The designed circuit is presented. Acoustical hotspot can be achieved through weighting the array signals. Satisfactory results are obtained as experiments show.

Key words Digital audio, Bird repellent device, Acoustical hotspot

1 引言^[1,2]

鸟类在人类生存环境的生态平衡中起着重要的作用,人类采取各种措施并制定法规对其进行保护,但是迅速增加的动物数量对农业生产形成严重危害,造成了农产品产量和质量的下降。据不完全统计,全国98%以上的果园遭受过鸟害,每年造成的直接经济损失高达7亿元之巨。

多年来,针对鸟害问题,国内外研究了一些驱赶害鸟的方法,主要是声音驱赶及形象驱赶。其中利用仿生学原理,采用一系列富有生物学意义的声音,如猛禽的叫声、鸟类遇难或报警叫声,为控制手段的语音驱鸟装置,驱赶效果很好。本文采用数字语音驱鸟器阵列,由多种富有生物学意义的声音片段组合的驱赶声音链,通过波束形成方法实现声场聚焦,将驱赶声音链声场控制在期望

2009-07-14 收稿; 2009-11-16 定稿

*国家863计划项目(2007AA10Z240)

作者简介:伟利国(1978-),男,辽宁宽甸县人,硕士。研究方向:鸟类危害行为声防技术。

张小超(1957-),男,研究员,博士生导师。 范智(1977-),女,讲师,硕士。 周立明(1982-),男,工程师,硕士。

†通讯作者:伟利国, E-mail: weilg78@126.com

区域，以达到良好驱鸟效果。

2 声场聚焦原理

目前，声场聚焦主要采用时间延迟（Time Delay，TD）和最大控制增益（Maximum-control gain，MCG）两种方法实现^[3,4]。

TD 方法根据各扬声器单元到目标点处距离的差异所引入的时延差，来调整各单元发射信号的相位，使目标点处的所有接收信号同相叠加以得到最大的声压强度，如图 1 所示。

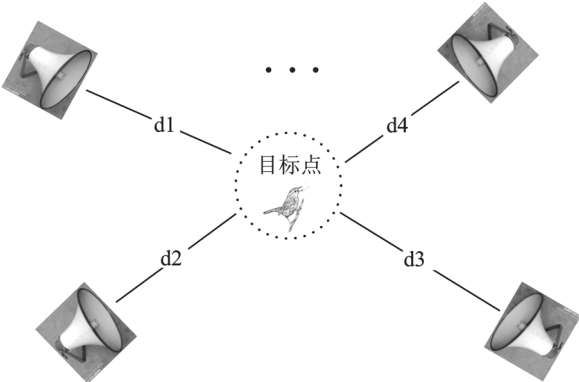


图 1 驱鸟器阵列与害鸟的位置图

MCG 方法不仅考虑到所有接收信号的时延差异，还考虑到其幅度衰落差异，通过

调整阵元发射信号的幅度和相位，以实现目标点处的声场聚焦。本文采用前一种方法实现数字语音驱鸟器阵列声音链声场聚集。

3 数字语音驱鸟器阵列系统设计

为了有效驱赶果园中的害鸟，设计了 6 路驱鸟器阵列系统。该系统对语音数字信号相位调整，进行加权处理。再经过数模转换，用功率放大器驱动多路扬声器输出。

3.1 系统结构框图

图 2 为数字语音驱鸟器阵列系统结构框图。现场中央控制器获取入侵害鸟的位置信息后，根据驱鸟器阵列扬声器布置位置信息计算出声音链的加权值，并通过串行总线将加权值信息传送给微控制器，由微控制器给出驱赶声音链的播放策略，调整阵列信号的相位，通过控制地址发生器和功放开关，将预先存储的数字声音链经数模转换器（digital-to-analog converter，DAC）转换后进行播放，达到声场聚焦的目的。

3.2 声音链相位调整算法

假设数字声音链信号可表示为：

$$x[n] = A \cos(\omega n + \phi_0) \quad (n = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (1)$$

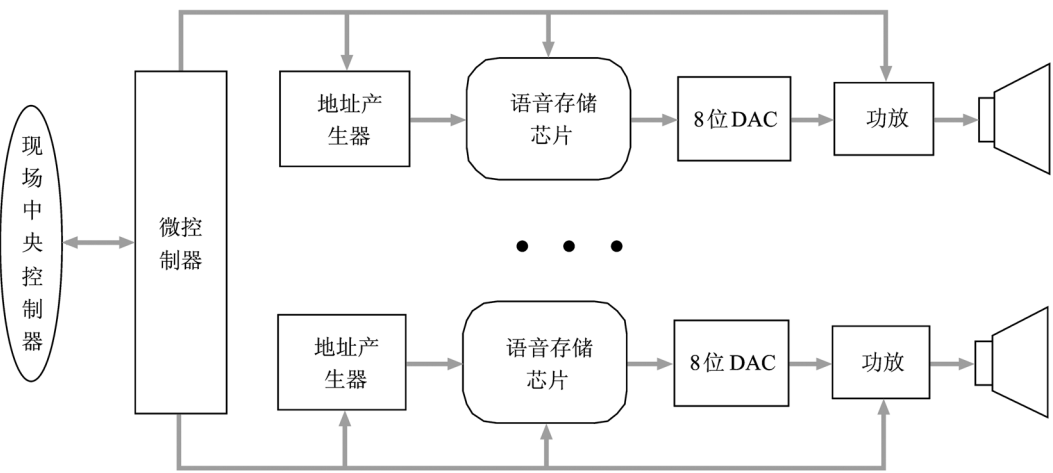


图 2 驱鸟器阵列系统结构图

式中频率为 w , 幅值为 A , 相位偏移为 φ_0 。
权值 $u_r = e^{j\varphi_r}$, 加权后数字声音链信号为:

$$x_u[n] = A \cos(wn + \varphi_0 + \varphi_r) \quad (n=1, 2, 3, \dots, k) \quad (2)$$

根据正交调制的方法实现信号的幅相调整。
已知权值:

$$u_r = e^{j\varphi_r} = \cos \varphi_r + j \sin \varphi_r = u_l + j u_Q \quad (3)$$

对序列 $x[n]$ 做 IQ 双路幅相调制可得:

$$\begin{aligned} x[n] \times u_l &= A \cos(wn + \varphi_0) \cos \varphi_r \\ &= \frac{A}{2} (\cos(wn + \varphi_0 + \varphi_r) \\ &\quad + \cos(wn + \varphi_0 - \varphi_r)) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x^\perp[n] \times u_Q &= -A \sin(wn + \varphi_0) \sin \varphi_r \\ &= \frac{A}{2} (\cos(wn + \varphi_0 + \varphi_r) \\ &\quad - \cos(wn + \varphi_0 - \varphi_r)) \end{aligned} \quad (5)$$

$$x[n] \times u_l + x^\perp[n] \times u_Q = A \cos(wn + \varphi_0 + \varphi_r) \quad (6)$$

其中 $x^\perp[n] = -A \sin(wn + \varphi_0)$ 。于是加权后的数字信号可以由下式来计算:

$$x_u[n] = x[n] \times u_l + x^\perp[n] \times u_Q \quad (7)$$

3.3 驱鸟器阵列分布设计^[5]

扬声器的安放位置应该能够使声场覆盖整个防治区域, 合理的扬声器位置设计能够有效地控制扬声器的声场分布和满足投射距离的声压级要求, 也有利于形成声音聚焦区, 达到更好的驱鸟效果。根据扬声器的最大供声距离 L 和指向角 α , 确定了单个播放器的有效覆盖面积:

$$s = \frac{\alpha}{360} \times \pi \times (3L)^2 \quad (8)$$

考虑到设备总成本最小化, 而单个驱鸟器成本固定, 则需要确定最小的扬声器数量,

该值与防治区域总面积、单个扬声器有效面积及播放器空间分布紧密相关。从而建立目标函数关系式:

$$\begin{cases} N = f(S, s, x_i, y_i) \\ N * s \geq S \end{cases} \quad (9)$$

这里 N 为最小的扬声器数量; S 为防治区域总面积; s 为单个扬声器有效面积; x_i, y_i 为第 i 个扬声器在防治区域内坐标分布。对目标函数求解来获得理论上的位置分布情况, 为实际驱鸟器阵列的布置提供基础参考。

3.4 驱鸟器阵列系统硬件实现^[6-8]

数字语音驱鸟器阵列系统如图 2, 由微控制器、地址发生器、存储器、DAC、功率放大器、扬声器组成。微控制器完成语音声音链的时延差计算、相位加权调整、播放及各模块同步控制。地址发生器由两个 12 位计算器组成, 用于产生语音存储芯片的地址信号, 地址发生器的计数时钟由微控制器提供。存储器中预先存储用于驱赶害鸟的数字语音信号。DAC 转换器将数字语音信号转化为模拟信号, 经功率放大器放大后, 驱动扬声器阵列工作。微控制器选用 Microchip 公司的 PIC18F6527, 该控制器接口模块丰富, 可以满足系统的功能要求。语音存储器为 AMD 公司的 AM29F032B, 容量为 32Mbit, 存储处理好的驱赶声音数字信号。DAC 采用 8 位的 AD557, 实现数模转换。后级功率放大器为 National Semiconductor 公司的 LM4950, 可驱动 7.5W 的扬声器。由于整个硬件系统采用低功耗、模块化设计, 根据不同应用需求, 快速组合, 易于实现数字化控制, 具有待机休眠功能, 系统使用方便, 维护简单。

4 结果与分析

实验选取一个比较开阔的空间, 环境噪

声低于 23dB。数字语音驱鸟器阵列由 6 个灵敏度为 85dB，加 3W 电功率的驱鸟器组成，按照预先设计的位置进行空间布置。通过选取目标测试点，确定其与各个驱鸟器的距离，利用数字声压级测试仪测得驱鸟器阵列在不

同工作情况下测试点处的声压级，实验结果见表 1。通过驱鸟器阵列在不同工作条件下的实验结果对比表明，阵列通过控制器加权处理，测试点处声场实现了聚焦，达到了预期的目的。

表 1 实验结果

驱鸟器阵列	与目标测试点距离 (m)	单独工作时目标测试点处 声压级 (dB)	阵列加权工作时目标点 处声压级(dB)
驱鸟器 I	16. 2	65	72
驱鸟器 II	13.4	67	
驱鸟器III	17.1	64	
驱鸟器IV	15.8	66	
驱鸟器 V	12.5	68	
驱鸟器VI	22.4	63	

为了检验驱鸟器阵列驱赶危害鸟的效果，在北京顺义区某樱桃园和葡萄园进行了现场试验。使用未进行声场聚焦处理的语音驱鸟器，驱赶危害鸟飞离果园距离平均为 300m，使用经声场聚焦处理的语音驱鸟器阵列，驱赶危害鸟飞离果园距离达到 500m 以上。果园使用驱鸟器阵列前后效果见表 2，使用声场聚焦语音驱鸟器阵列可使鸟害造成的损失减少达到 70%，取得了预期的效果。

本文给出了数字语音驱鸟器阵列系统设计和声音链声场聚焦实现方法，并详细说明了硬件电路的实现。通过调整数字声音链阵列声源相位实现了声场聚焦，室内实验取得了较好的效果。果园现场驱鸟试验，也取得了预期的效果。由于有些果园现场周围情况复杂，合理布置和控制驱鸟器阵列，进一步提高驱鸟效果，还有大量研究工作要做。

表 2 果园实验结果

	樱桃	葡萄
亩产 (斤)	3000	7000
不使用驱鸟器损失比例	30%	20%
不使用驱鸟器损失产量 (斤)	900	1400
使用驱鸟器阵列（未声场聚焦）减少损失比例	50%	50%
使用驱鸟器（未声场聚焦）挽回损失产量 (斤)	450	700
使用驱鸟器阵列（声场聚焦）减少损失比例	70%	70%
使用驱鸟器（声场聚焦）挽回损失产量 (斤)	630	980
水果单价 (元/斤)	7	2.5
使用驱鸟器（声场聚焦）挽回损失 (元)	4410	2450

5 结论

为了提高语音驱鸟器驱赶害鸟的效果，

参 考 文 献

[1] 谭树人. 果园鸟害防御措施. 西北园艺, 2007, 6: 45.

[2] 郝锡联, 易国栋. 机场驱鸟方法的探究. 吉林师范大学学报 (自然科学版), 2005, 26(2): 45-46.

[3] Y. Wen, J. Yang, W.-S. GAN. Strategies for an acoustical hotspot generation. IEICE Trans A, 2005, E88-A (7): 1739-1746.

[4] Y. Wen, J. Yang, W.-S. GAN. Target-oriented acoustic radiation generation technique for sound field control, IEICE Trans A, 2006, E89-A (12): 3671-3677.

[5] 刘抗振, 曾光宇. 球面等间距阵列声场聚焦特性研究. 山西科技, 2006, 1: 96-98.

[6] M. J. Delwiche, A. P. Houk, W.P. Gorenzel, etc. Electronic broadcast call unit for bird control in orchards. American society of agricultural engineers, 2005, 21(4): 721-727.

[7] 马登永, 匡正, 杨军. 实现声场聚集的扬声器阵列系统设计. 噪声与振动控制, 2007, 11: 448-450.

[8] 王有绪, 许杰, 李拉成. PIC 系列单片机接口技术及应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.