

文章编号:1005-4642(2018)03-0047-05

基于智能手机实现典型声学现象的课堂多边互动模式

胡祥龙^a, 乐永康^{a,b}, 高 渊^{a,b}, 马世红^{a,b}, 魏心源^{a,b}

(复旦大学 a. 物理学系; b. 物理教学实验中心, 上海 200433)

摘 要:利用智能手机的音频发送和接收功能,编写声波合成与拍的现象以及多普勒效应等典型声学效应演示的 APP 程序,并将该演示程序应用于大学物理课堂教学或者声学有关的物理实验教学之中,探索了课堂多边互动的新模式.

关键词:物理演示实验;声学;拍;多普勒效应;FFT 变换;智能手机;APP

中图分类号:O423;O4-39

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2018.03.012

自 2007 年苹果公司推出第一代智能手机以来,因其上可以安装丰富多样的应用程序,智能手机已经极大地改变了人们的日常生活.同时大学生中智能手机的普及率也非常高,几乎人手一部.智能手机对大学课堂教学来说是一把双刃剑.经常有很多教师抱怨智能手机造就了一批课堂上的低头族,但是反过来说,如果能利用智能手机内置的各种传感器,通过编程开发出丰富多彩的教学类手机 APP 程序,那么对于大学课堂教学无疑也是促进.由此出发,笔者也思考了如何将智能手机演示引入到大学物理课堂教学之中,这方面已经有若干案例^[1-5].很多时候,物理现象的演示都是教师在做,学生在看,师生之间互动很少,更谈不上生生之间的互动了.本文利用智能手机的音频发送和接收功能,制作用于声波合成和拍的现象以及多普勒效应的演示程序,可以由学生分组配合自行进行典型声学现象演示和改变参量进行深入探究,最大程度提高师生和生生的互动,起到了增强课堂教学效果的作用.同时该程序也有助于学生了解快速傅里叶变换(FFT)的基本原理.

1 实验原理

声学实验是大学物理和大学物理实验中非常重要的内容,也和人们的生活息息相关.声学实验都离不开声波的产生和接收以及分析.本文利

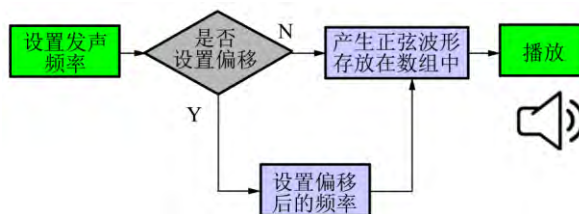
用智能手机编程,将声波产生和接收分析移植到手机中,使手机变成了可以随时随地演示声学现象以及进行相关测量的工具.

智能手机开发平台选择 Android^[6],这是由于 Android 平台具有用户面广、开发免费等优点.同时 Android 开发资料相较于 iOS 开发更加丰富,各种辅助开发库也容易得到.同时新的 Android Studio 开发环境也让编程变得更加便利.声波合成与拍的现象演示 APP 程序包括 2 部分:发声程序,用于产生特定频率的正弦波并播放;接收和分析程序,用于接收声波并对其进行 FFT 分析.程序的框架图如图 1 所示.

假定有 2 列振幅相同的声波,其位移随时间的变化满足^[7-8]:

$$A_1 = a_0 \sin(2\pi f_1 t), A_2 = a_0 \sin(2\pi f_2 t), \quad (1)$$

其中 f_1 和 f_2 分别为正弦波的频率,如图 2(a)所示.当 2 列波的频率相差较小时,就会形成拍的现象,如图 2(b)所示.由三角函数变换可知合成



(a) 音频发送

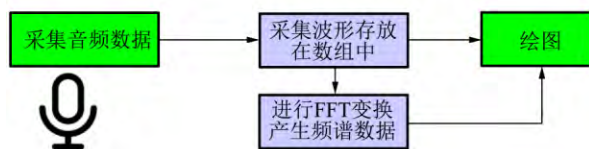
收稿日期:2018-01-01

基金项目:国家基础科学人才培养基金资助项目(No. J0730310, No. J1103204);教育部教学指导委员会项目(DWJZW201604hd);复旦大学教学研究与改革实践项目

作者简介:胡祥龙(1995-),男,安徽安庆人,复旦大学物理学系 2013 级本科生.

通讯作者:魏心源(1974-),男,河北黄骅人,复旦大学物理学系讲师,博士,从事物理实验教学研究.





(b)接收和分析

图 1 程序框架图

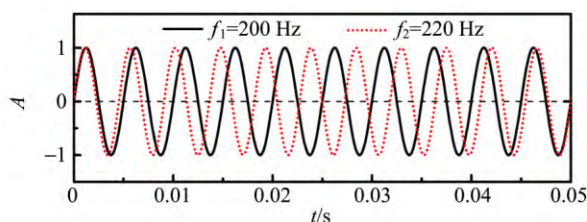
声波位移随时间的变化关系为

$$A = 2a_0 \cos [\pi(f_1 - f_2)t] \sin [\pi(f_1 + f_2)t], \quad (2)$$

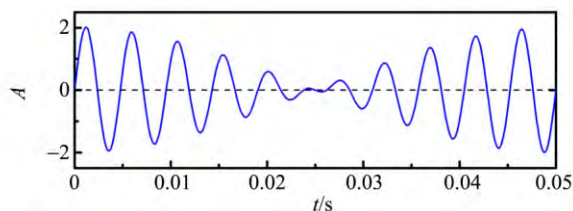
拍频为

$$f_{\text{beat}} = |f_1 - f_2|.$$

拍在实际生活中有很多应用,如利用拍的现象为乐器调音等.



(a) 2 列频率不同的声波



(b)合成声波的波形图

图 2 声波合成示意图

2 虚拟声学实验实现

2.1 音频发送

智能手机集成的扬声器一般可发出 20 Hz~20 kHz 的可闻声波. 但是考虑到频率响应的关系,手机发声音质比较好的范围一般集中在 200 Hz~10 kHz. 为得到合成声波,需要产生特定频率的正弦波,为此先制作了根据用户需要产生特定频率正弦声波的 APP 程序. 软件界面如图 3 所示.

为了具有代表性和满足精度要求,使用者可拖动滑动条以 100 Hz 步长在 100 Hz~2 kHz 之间进行初步调节. 选取的频率范围和步长基本覆盖典型的可闻声波声学现象和实验演示领域. 为

为了避免高频声波引起的不适感,频率上限限制为 2 kHz. 在频率粗调完成的基础上,使用者还可以对频率进行微调,即通过下拉框选择小的频率偏移量(0~5 Hz,步长 1 Hz),如在 500 Hz 基础上产生 503 Hz 的频率. 然后点击 START 按钮调用 Android 系统播放音频的功能发出单一频率的正弦波. 程序编写完成后经过多次测试,发声功能工作正常,无明显杂音. 手机发出正弦波的振幅可以通过音量按钮进行调节.

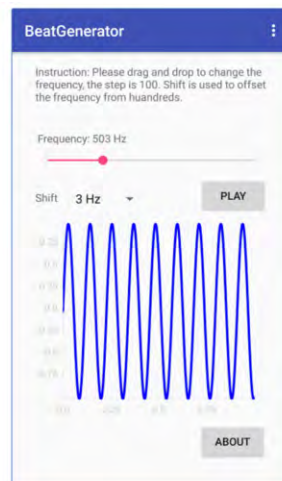


图 3 发声程序界面(由频率调节部分以及波形显示部分组成)

2.2 音频接收和分析

当 2 台手机设置相近的频率后同时发声,通过声波在空间的叠加就可以形成拍的现象,之后还需要对合成的声波进行采集和分析处理. 同样使用 Android 编程实现了该功能的 APP 程序. 该程序不仅可以绘制合成声波(拍)的波形图,还可以在采集得到的拍波形基础上,通过调用 Java 数学库中的 FFT 功能将信号从时间域变换到频率域中,从而得到分解后的频率信息. 波形图和频谱图分别显示在程序界面的上部和下部,如图 4 所示. 频谱图中显示的峰对应的数据点并不是很多,这是由于为了保持图像清晰,小于一定阈值(1×10^{-3} ,电平)的值都被略去了. FFT 是现代工程领域中非常有用的算法,但是学生可能对其作用的认识并不是很清楚,通过做此变换,可以帮助他们加深印象,使他们对 FFT 在信号处理中的作用有直观地认识. 众所周知,FFT 变换的质量依赖于采样点的数量. 如果采样点数不够多,就会导致数据失真. 由于手机采样的频率是固定的

(48 000/s),因此在界面下方设置下拉列表,用于设置采样时间(1,2,4,8,16,32,64,128,256),单位为 0.021 3 s,最长采样时间为 5.46 s(对应值 256)。这样可以演示不同采样设置对于经过 FFT 变换后的声波频率精度的影响。在 APP 编程中绘图控件使用 MPAndroidChart 控件,该控件使用简单,功能强大,可以随意拖动放大缩小,触摸曲线可以得到特定点的坐标,非常适合对智能手机采集到的数据进行可视化。

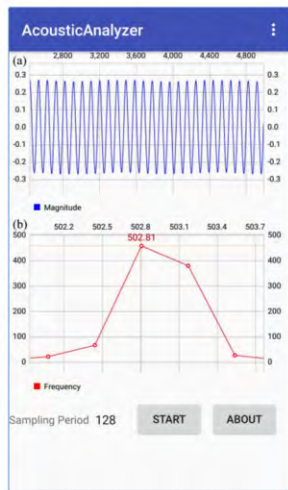


图 4 音频接收和分析界面(包含音频信号波形图和经过 FFT 变换后的频谱分布图)

2.3 拍的现象测量

在演示声波合成和拍的现象时,需要使用 3 部智能手机。其中前 2 部安装音频发送 APP 程

序,用于发出频率略有差异的声波。第 3 部安装音频接收和分析 APP 程序,负责接收合成声波以及对其进行 FFT 分析。实验装置如图 5 所示。其中 A 和 B 为 2 部发声手机,C 为数据接收和分析手机。A 和 B 的扬声器应和 C 的麦克风距离尽量接近,成等腰三角形,保证拍波形尽可能完美。右侧为采集到的拍波形和频谱图。其中虚线圆形标出的是用于合成拍的 2 个频率峰的位置。

利用上述实验装置,通过改变正弦声波的不同频率组合,测量若干组数据,结果如表 1 所示(其中 t_1 为拍波形测量的起始时间点, t_2 为拍波形测量的结束时间点, n 为拍波形的个数, ν 为计算得到的拍频)。其中 f_1 和 f_2 代表 2 列声波频率的理论值。 f_1' 和 f_2' 代表 2 列声波经过 FFT 变换后的测量值。 E_r 为拍频的测量值和理论值之间的相对偏差。 t_1 和 t_2 表示 n 个拍周期的起始点和结束点,一般取波节处的值。 t_1 和 t_2 以及 f_1' 和 f_2' 均可以通过手指触摸操作从波形和频率图的曲线点获得。

从表 1 中可以看到,经过 FFT 变换后得到的频率和初始频率符合较好。通过拍波形测量得到的拍频和理论值之间偏差对于所有频率组合均小于 1%。当然低频部分测量的误差相对较大,这是由于低频部分发声更容易受到外界干扰所致。同时在测量中发现,小于等于 300 Hz 的声波合成拍的现象观察起来较为困难,因此并不建议使用该频段进行测量。

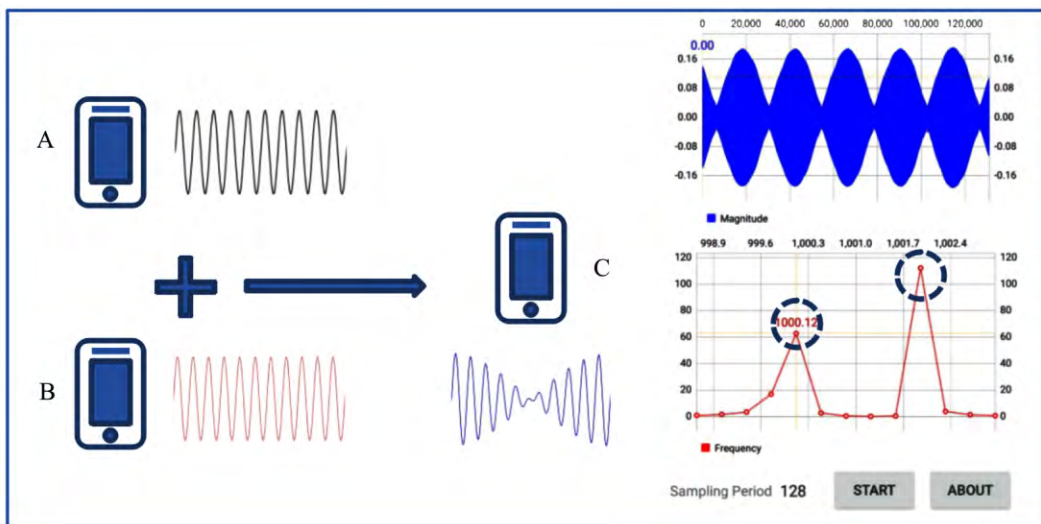


图 5 声波合成与拍的现象演示装置示意图以及采集到的数据图

表 1 声波和拍的测量数据

f_1/Hz	f_2/Hz	$\Delta f/\text{Hz}$	f_1'/Hz	f_2'/Hz	t_1/s	t_2/s	n	ν/Hz	E_r
400	401	1	399.90	401.00	0.210	1.200	1	1.010	1.0%
500	502	2	499.88	502.08	0.284	1.286	2	1.996	-0.2%
800	803	3	800.17	803.10	0.231	1.231	3	3.000	0
1 000	1 005	5	1 000.12	1 004.88	0.248	1.247	5	5.005	0.1%
1 500	1 505	5	1 500.00	1 505.13	0.133	1.133	5	5.000	0

需要注意的是,在理论分析中,假定 2 列正弦波的振幅相等,这是理想化条件. 在实验中通过调节手机的音量按钮尽可能地保持这个条件成立,对智能手机而言,音量调节的均匀性也是非常重要的实验因素. 使用 TES 手持式声强计对不同型号 Android 智能手机进行测试. 声强计型号为 TES-1357,解析精度为 0.1 dB. 以静音作为 0,使用音量增加按键调节音量,得到声强随着音量等级的变化关系如图 6 所示.

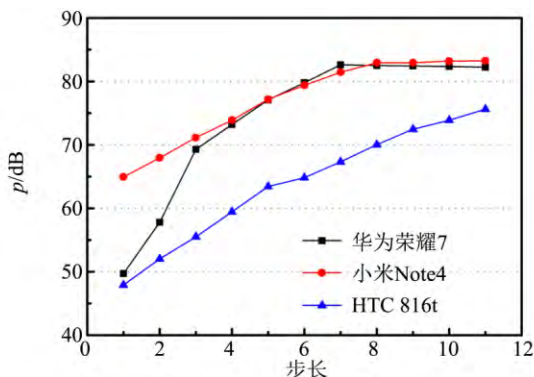


图 6 不同的 Android 手机声强随音量等级的变化关系

本文比较了 3 种不同型号的手机,发现不同手机调节音量时,声强的均匀性还是有差异的. 例如整体上来说 HTC 816t 的音量调节均匀性明显比华为荣耀 7 或者小米 Note4 的线性度更高. 对于小米 Note4,声强调节在前面一段的线性度也较为理想. 因此在采集成声波前必要的校准环节,需要调节 2 个声源的音量,使得其振幅尽可能接近,以达到波节最小的效果,方便测量. 这一校准过程既可以由人耳听拍的强弱,尝试调节手机外放的音量使拍的强弱变化效应最明显,也可以使用声强计来定量化完成. 无论采用哪种方法,尽可能使得音量位于中间区域,而不是过弱或者过强的区间,这将有助于得到清晰的拍的波形.

2.4 声波多普勒效应测量

此外,还可以利用上述 APP 程序进行声波多

普勒效应的演示. 使用四轮小车作为运动载体,具体做法是将一部手机设置为接收器并固定,另外一部手机作为声源,设置发出特定频率的声音,放置于小车上,朝接收手机相向或者远离运动,测量装置如图 7 所示.



图 7 多普勒效应测量装置

小车的运动速度可以使用另外一部手机拍摄运动视频,然后使用 Tracker 软件对视频进行分析得到^[9]. 小车的运动距离可以通过卷尺确定.

根据多普勒效应公式可知,在运动状况下相对于静止时声波的频率会发生变化,当声源运动,接收器静止时,接收器接收到的运动状态下声波频率与静止频率的关系为

$$f' = f \frac{v}{v \mp v_D}, \quad (3)$$

其中 v_D 为声源的运动速度, v 是空气中的声速(室温 20 °C 时 $v \approx 343$ m/s). 式(3)当声源接近接收器时取负号,当声源远离接收器时取正号. 通过对采集到的声波频率进行分析,得到静止频率为 1 000 Hz 的声源在接近和远离接收器时频率为 1 005 Hz 和 997 Hz,计算得到对应的小车运动速度分别为 1.7 m/s 和 1.0 m/s. 通过 Tracker 测得小车运动速度在 1~3 m/s 之间. 结果不太理想,这与小车运动不太均匀有关,但定性上还是符合得很好.

上述基于智能手机的声波合成和拍的现象演

示 APP 程序在大学物理课堂教学中的典型应用场景可以包括:教师讲解声波合成和拍的理论原理的同时,让学生组成小组自己动手在课上或者课后进行演示和测量。通过这种方式将理论讲解和动手实践结合,增强教学效果。课前预习也是一个可选项。另外也可以设计物理实验课程,用智能手机取代普通声波合成和拍的实验装置。相比普通实验装置而言,基于智能手机的声学实验装置具有移动性好、互动性强、成本低、简单易行等优点,可以适用于包括声波合成和拍以及多普勒效应等典型的声学现象演示和测量。后续我们也会针对普通物理实验开设平行讨论班,对教学效果做对比研究。

3 结束语

利用智能手机编程,实现了声波合成和拍以及多普勒效应等典型声学现象分析测量和课堂演示的 APP 程序、智能手机程序不仅容易集成到大学物理课堂教学之中,提高学生的学习兴趣,帮助学生加深对物理定律的认识和理解,同时也起到了活跃课堂教学气氛的作用。通过此系统,让生生之间能够尽可能地产生互动,带来更好的课堂教学效果。智能手机可以为实现更好的课堂教学效果服务。让物理教学变得更生动更有趣。

参考文献:

- [1] 郭平生,柴志方,崔璐,等. 手机 APP 系统在大学物理实验教学中的应用[J]. 物理实验,2016,36(11):28-31.
- [2] 时天宇,冷宜霖,陈泽坤,等. 基于转动惯量平台与智能手机的教研实验探究[J]. 物理与工程,2017,27(4):66-69.
- [3] Kuhn J, Vogt P, Hirth M. Analyzing the acoustic beat with mobile devices [J]. Physics Teacher, 2014,52(4):248-249.
- [4] Giménez M H, Salinas I, Castro-Palacio J C, et al. Visualizing acoustical beats with a smartphones [J]. arXiv:2017.1605.01370.
- [5] Klein P, Hirth M, Gröber S, et al. Classical experiments revisited: smartphones and tablet PCs as experimental tools in acoustics and optics [J]. Physics Education,2014,49(4):412.
- [6] 郭霖. 第一行代码 Android[M]. 2版. 北京:人民邮电出版社,2016.
- [7] 哈里德,瑞斯尼克,沃克. 物理学基础[M]. 6版. 北京:机械工业出版社,2005.
- [8] 沈元华,陆申龙. 基础物理实验[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [9] Tracker 视频分析软件[EB/OL]. [2017-10-15]. <https://physlets.org/tracker/>.

Model of classroom multilateral interaction based on typical acoustic phenomenon realized with smartphone

HU Xiang-long^a, LE Yong-kang^{a,b}, GAO Yuan^{a,b}, MA Shi-hong^{a,b}, WEI Xin-yuan^{a,b}
(a. Department of Physics; b. Physics Teaching Lab, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: By using the voice sending and receiving functions of smart phone, an android APP was compiled to demonstrate typical acoustic experiments, such as sound synthesis, beat, Doppler effect and so on. The APP was used in the classroom of college physics and the experimental teaching of acoustics. At the same time, a model of classroom multilateral interaction was explored.

Key words: physics demonstration experiment; acoustics; beat; Doppler effect; FFT transformation; smart phone; APP

[责任编辑:郭伟]