

电话拨号音的数字解码系统

供题老师：张敏明

双音多频信号（Dual-Tone Multi-Frequency, DTMF）是电话系统中电话机与交换机之间的一种用户信令。用户每按一个键电话机就发送一个高频和低频的正弦信号组合，比如‘1’键相当于 697 和 1209 赫兹（Hz）。交换机可以解码这些频率组合并确定所对应的按键。

电话按键产生的信号可以表示为：

$$x(t) = \cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)$$

其中 f_1 和 f_2 分别用于对行和列按键进行编码，具体频率值如表 1 所示。

表 1. 按键频率编码表

$f_1[\text{Hz}]$	$f_2[\text{Hz}]$		
	1209	1336	1477
697	1	2	3
770	4	5	6
852	7	8	9
941	*	0	#

本问题要求设计一个数字系统，通过分析按键产生的信号 $x(t)$ 获得按键在拨号盘上的行号和列号。图 1 所示的方框图给出了分析按键列号的系统原理结构。

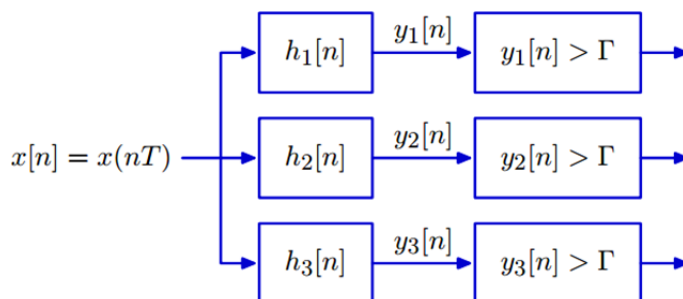


图 1. 按键列号解码系统原理结构框图

输入信号 $x(t)$ 首先以周期 $T = 10^{-4}$ 秒进行采样，采样数据先经过一个 LTI 系统（图示 $h_i[n]$ 系统）处理后生成一个中间信号：如果按了第 1 列上的键时给 $y_1[n]$ 赋一个大值，按了第 2 或第 3 列上的键时则分别给 $y_2[n]$ 或 $y_3[n]$ 赋大值。然后将上述中间信号送入检测单元，通过判定 $y_{1,2,3}[n]$ 是否大于预设的阈值 Γ 来解码按键所在的列号。本问题的任务是设计出上述 LTI 系统，并且要求该系统采用图 2 所示的两极点系统结构。

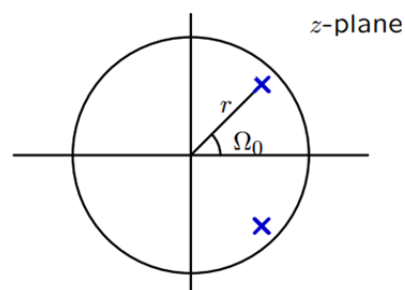


图 2. 两极点系统结构

提示：可以先求解上述系统的时域差分方程，然后根据该差分方程编写 MATLAB 代码，通过迭代求解该方程的输出。

假设：单次按键时间为 0.5 秒，相邻按键间隔为 0.05 秒（这段时间 $x(t) = 0$ ）。

1. 确定 r 和 Ω_0 的值，使得 $h_1[n]$ 系统在按“1”键是产生幅值大的响应，而按“2”或“3”键时产生幅值小的响应。该系统不仅能够处理输入只包含单个按键信号的情况，还要能处理包含一串按键信号的情况（类似拨一串电话号码产生的信号）。请给出你的 $h_1[n]$ 系统的设计方案，并编写代码，然后模拟产生多个不同的按键信号，画出 $h_1[n]$ 系统输出的 $y_1[n]$ 信号。
2. 分析 Ω_0 的值对输出信号 $y_1[n]$ 的影响；结合上述代码，画出相应的波形予以说明。
3. 分析 r 的值对输出信号 $y_1[n]$ 的影响；结合上述代码，画出相应的波形予以说明。在此基础上，进一步给出 r 的合理取值范围，并予以说明。
4. 基于上述系统原理结构，编写完整的拨号音解码程序，给出设计方案并予以验证。