

# 数字法庭自动语音激励系统设计

刘焯 崔慧海 陈震宇

浙江省宁波市中级人民法院, 浙江省宁波市, 315040;

**摘要:** 为解决当前数字法庭拾音效果不佳, 语音信号受干扰严重导致自动语音激励不准确的问题, 设计了数字法庭自动语音激励系统, 通过麦克风阵列技术实现分角色语音采集, 利用自适应子带音频反馈抑制技术对语音信号进行反馈抑制处理, 通过设置音量阈值和音量比对生成语音激励指令信号, 联动实现发言者画面切换。

**关键词:** 数字法庭; 语音激励; 麦克风阵列; 自适应子带音频反馈抑制

**DOI:** 10.64216/3080-1508.25.07.049

## 引言

在信息技术飞速发展的当下, 加之司法体制改革的有力推动, 智慧法院建设如火如荼, 成果显著<sup>1</sup>, 数字法庭作为司法信息化建设的核心成果, 正深刻改变着传统庭审模式<sup>2</sup>。通过数字法庭庭审现场生成的录音录像, 作为案件重要的证据资料, 在提高审判效率, 保障司法公正, 深化司法公开等方面发挥着关键作用。

麦克风阵列技术是一种通过多个麦克风组成阵列系统, 实现对声音信号进行空间滤波、声源定位、降噪增强等功能的音频处理技术。它通过对多通道音频信号的协同处理, 解决单麦克风在复杂声学环境下的性能局限。

自适应子带音频反馈抑制技术是一种用于消除音频系统中回声或反馈噪声的技术, 广泛应用于扬声器、麦克风、视频会议等设备中。其核心原理是通过将音频信号分割成多个子带, 针对性地处理可能产生反馈的频段, 从而高效抑制啸叫或回声, 同时减少对原始音频质量的影响。

本文设计了数字法庭自动语音激励系统, 采用高灵敏度宽拾音角麦克风, 通过麦克风阵列技术<sup>3</sup>实现分角色语音采集, 利用自适应子带音频反馈抑制技术, 通过数字反馈抑制器和音频处理器实现语音信号的动态滤波, 数字反馈抑制器向庭审主机发送语音激励指令信号联动实现发言者画面切换。

## 1 数字法庭语音激励应用现状

数字法庭的庭审语音激励, 是指庭审现场的焦点画面可以通过话筒拾音检测自动切换成当前发言者的功能。人民法院对于数字法庭的智能化建设提出了明确要求: “数字法庭系统要支持语音激励功能, 通过语音激励视像跟踪技术, 在庭审过程中采用多机位高清摄像机, 根据语音发言人变化, 可自动跟踪切换法官、原告、被告、辩护人、证人、公诉人、犯罪嫌疑人等角色对应的视频摄像机信号。语音激励输出应具备延时设置、多个优先级设置以及啸叫抑制功能, 避免误触发造成画面频繁切换。应支持自动语音激励和手动语音激励两种模式。”

然而, 在数字法庭实际应用过程中, 自动语音激励不准确的问题一直未能解决, 导致在重要庭审现场只能通过技术人员手动激励的方式来完成画面切换, 庭审技术保障压力大量增加。语音激励之所以不准确, 是拾音效果不佳, 声音信号质量较差造成的, 主要表现为当发言者扭头、站立发言或忘记打开话筒电源时, 会导致拾音不完整。另外, 当法庭内环境复杂, 人声扩声音量过大, 或多个话筒同时打开时, 声音容易互相干扰, 产生啸叫。以上拾音不完整不清晰、互相干扰和啸叫的情况, 直接导致语音激励无法准确定位发言人, 无法准确切换到当前发言者画面, 影响庭审视频的录制质量。

## 2 数字法庭自动语音激励系统设计

图1为数字法庭语音激励系统设备连接图, 数字法庭自动语音激励系统主要分为四部分设计内容, 分别为拾音模块、扩声模块、音频处理模块、语音激励模块。

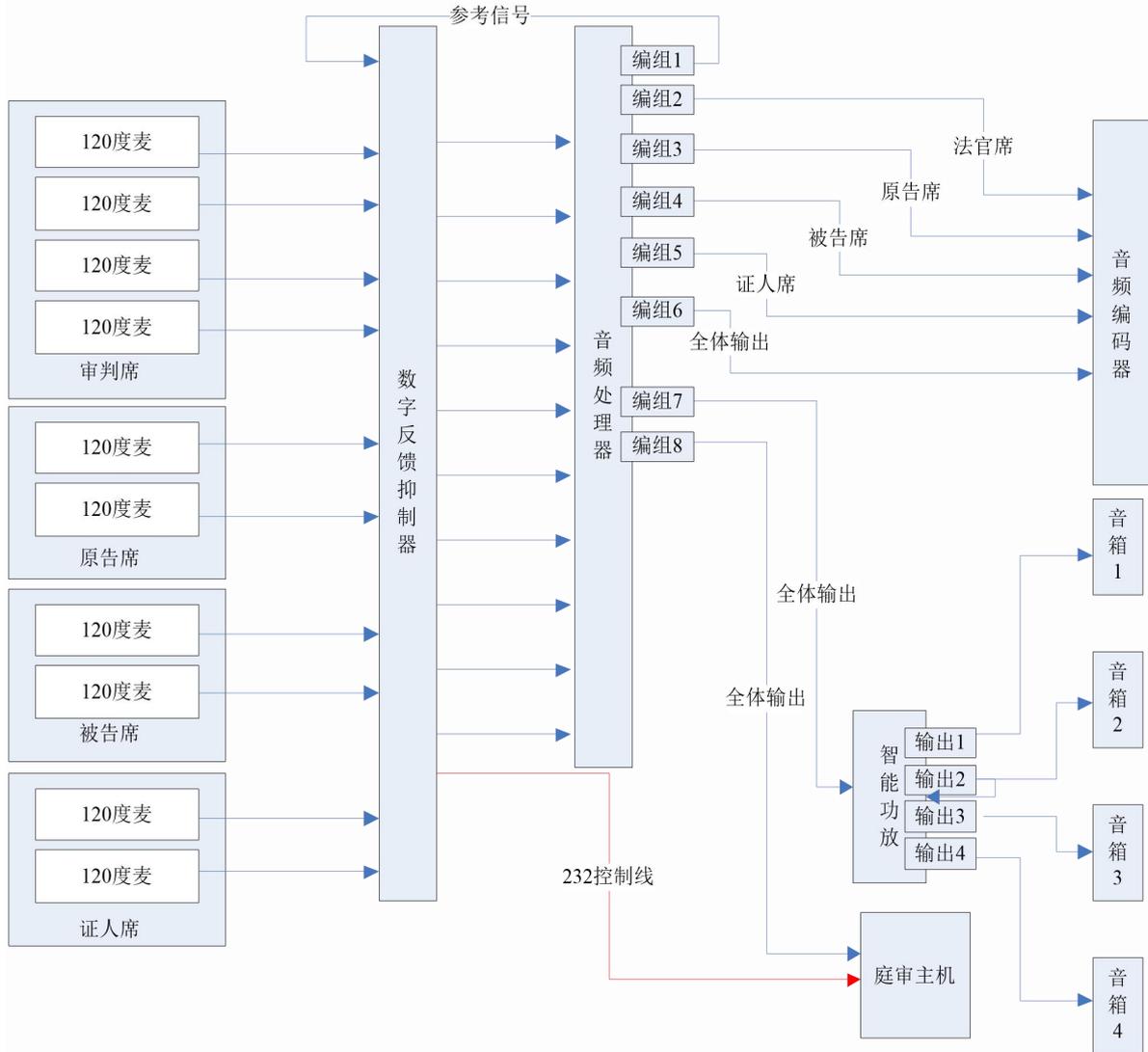


图 1: 数字法庭语音激励系统设备连接图

### 2.1 拾音模块设计

为了防止声音串扰，部分数字法庭采用的是拾音角度小、拾音距离短和普通鹅颈式话筒，但当发言者未一直正对话筒发言时，采集到的声音时大时小，时有时无，忘记打开话筒电源时，更是采集不到声音信号。部分数字法庭采用了全向拾音话筒，采集声音易受串扰，还会有电灯嗡嗡声、电机工作声等背景噪声。为解决以上问题，拾音端采用高灵敏度宽拾音角话筒，心形指向 120° 单咪头，支持 0.1-2 米距离拾音，无论发言者扭头、站立发言，都可正常拾音，确保声音采集的清晰度和准确性。话筒采用无开关设计，话筒随系统自动启动，无需发言者手动开启话筒电源开关。通过麦克风阵列技术基于时间差 (TDOA) 进行声音定位，实现分角色语音采集，具体算法如下：

设定声波阵列由 N 个麦克风组成，麦克风的位置分

别为  $r_1, r_2, \dots, r_N$ 。声源位置为  $s$ ，声波在空气中的传播速度为  $c$ 。

声波到达第  $i$  个麦克风的时间延迟为：

$$T_i = \frac{\|s - r_i\|}{c}$$

如声波到达第  $i$  个麦克风的时间为  $t_i$ ，则时间差为：

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j$$

根据时间差可以建立方程组：

$$\|s - r_i\| - \|s - r_j\| = c \Delta t_{ij}$$

通过求解该方程组，可以确定声源位置  $s$ 。

### 2.2 扩音模块设计

为防止扩音音量过大产生二次干扰，通过智能功放设备来驱动高保真吸顶音箱，针对每个麦克风位置与拾音范围预设各区域音量，并可根据现场扩音情况动态调整。

### 2.3 音频处理模块设计

首先，将麦克风采集到的所有语音信号转换为电信号，传输至数字反馈抑制器。而后，数字反馈抑制器将处理后的信号传输至音频处理器，音频处理器将所有语音混合生成参考信号传输至数字反馈抑制器。对照参考信号，数字反馈抑制器利用自适应子带音频反馈抑制技术将输入各路信号进行反馈抑制处理后，输出至音频处理器。

如图 2 所示，自适应子带音频反馈抑制的信号处理过程如下：

1. 分别对麦克风采集信号和输出给功放的信号按采样时间顺序，采用重叠分块的方法分割为数据块，并对分割的数据块进行子带滤波器滤波，分别得到麦克风子带信号和功放子带信号；
2. 利用子带反馈滤波器对功放子带信号进行滤波，得到扩音音箱传递给麦克风产生的反馈信号；
3. 从麦克风子带信号中减去反馈信号，得到消除反馈后的麦克风子带信号；
4. 对功放子带信号、麦克风子带信号、以及消除反馈后的麦克风子带信号进行加权能量分析统计，决定子带反馈滤波器的修正步长；
5. 将消除反馈后的麦克风子带信号，经过子带合成滤波器复原为时间域语音信号，输出给智能功放进行扩音；
6. 根据修正步长、功放子带信号和消除反馈后的麦克风子带信号，对子带反馈滤波器进行修正。

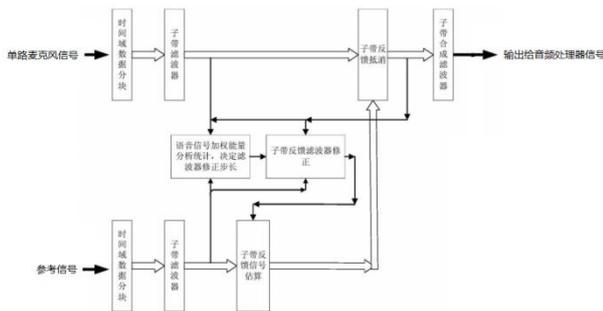


图 2：自适应子带音频反馈抑制的信号处理流程图

最后，音频处理器在采用自动检测技术将信号进行自动降噪、增益控制等处理后，传输至音频编码器进行录音，同时分别传至扩音端和庭审主机，进行语音播放和录音录像生成。

### 2.4 语音激励模块设计

根据法庭环境噪音和麦克风灵敏度等因素在数字反馈抑制器中设置音量阈值，将经过反馈抑制处理后的各路语音信号音量与该阈值进行比较。当某一路语音信号音量超过设定的阈值时，表明该路麦克风正有人在发言。当多路语音信号音量均大于阈值时，即对多路语音信号音量进行比较，音量最大的确定为当前发言者，生成语音激励指令信号，通过串口发送给庭审主机。

如果是基于画面切换的语音激励，庭审主机将麦克风与对应的摄像机相关联，在接收到语音激励指令信号后，自动将该音量最大麦克风关联的摄像机画面切换为当前焦点画面，显示在庭审记录设备或现场大屏上。若是基于预置位的语音激励，会将话筒与特写摄像机的预置位相关联，在接收到语音激励指令信号后，自动将特写摄像机调往该麦克风所关联的预置位，聚焦到当前发言者。

### 3 结语

本文基于麦克风阵列技术和自适应子带音频反馈抑制技术设计了数字法庭自动语音激励系统，经测试，画面切换准确度大幅提升，确保了庭审录音录像的质量，在减轻庭审技术保障压力，提高审判效率、促进司法公正、提升司法公信力等方面发挥了积极的作用。

#### 参考文献

[1] 比较法视野下智慧法院建设的中国经验、实践困境与路径优化[J]. 黄国栋. 法律适用 2023 (03) .

[2] 智慧法院建设中智能化系统应用[J]. 王旭钢. 建筑智能化 2022 (06) .

[3] 基于麦克风阵列的声源定位系统研究[J]. 李彦璐. 沈一. 潘欣裕. 物联网技术 2021 (07) .