

# 云雷科技（北京）有限公司

## 技术体系介绍

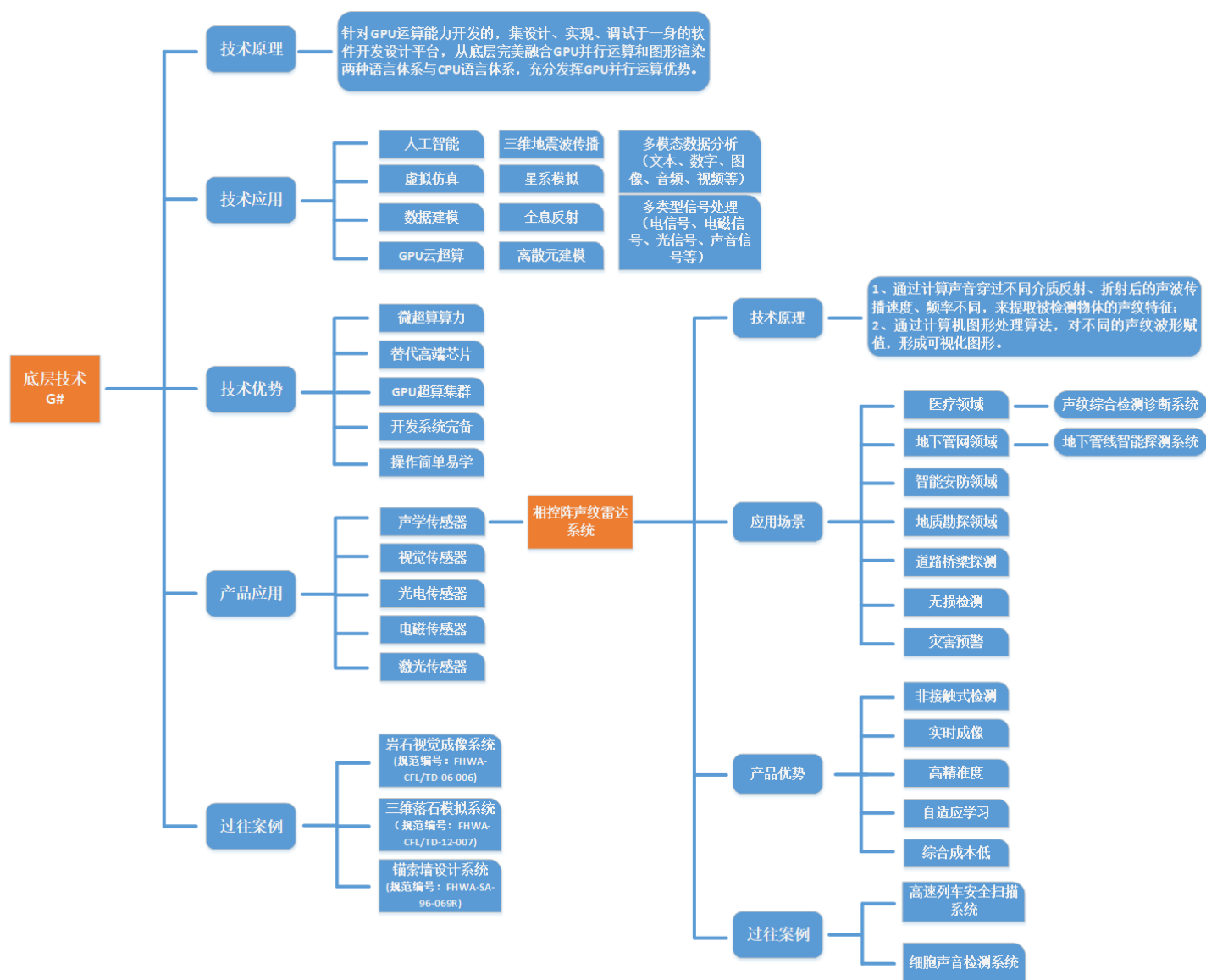
2023 年 8 月

# 目录

一、整体技术框架.....	3
二、底层技术 G#.....	4
1、G # 原理简介 .....	4
2、G#的技术应用 .....	5
3、G#的技术优势 .....	6
3.1 以 GPU 为运算基础的完备开发系统 .....	6
3.2 操作简单、兼容性强.....	6
3.3 丰富的资源库和工具包， 功能强大.....	7
3.4 实现普通 PC 微超算， 解决高端芯片“卡脖子”难题.....	8
3.5 云计算共享功能， 提供超算集群算力.....	9
三、产品应用.....	10
1、声音检测基本原理 .....	10
2、相控阵声纹雷达系统介绍 .....	11
2.1 相控阵声纹雷达硬件系统.....	11
2.2 相控阵声纹雷达声波处理技术.....	12
3、应用场景 .....	14
3.1 地下管网探测领域—地下管线智能探测设备 .....	14
3.2 医疗领域—声纹综合检测诊断系统.....	16
四、过往案例.....	19
1、三维落石模拟系统 .....	19
2、锚索墙设计系统 .....	20
3、高速列车声学安全扫描系统 .....	21

## 一、整体技术框架

在多年工程从业经历中，公司持续研发了具有自主知识产权，具备创新、领先、高效等性能的一系列实施工具，逐渐形成了目前以编程语言、算法模型以及硬件系统为核心的智能化、高精度声纹探测系统。自主研发的 **G#编程语言** 完成了相应的软件开发，开发了高速多通道并行采集、高速无损数据传输、高速并行计算、深度思考等独创算法与技术，能够完成海量数据秒级处理。自主研发的**相控阵声纹雷达系统**，基于发射、接收、分析可闻声波，通过波形特征提取、声源定位、逐点扫描，实现了海量数据的实时采集。

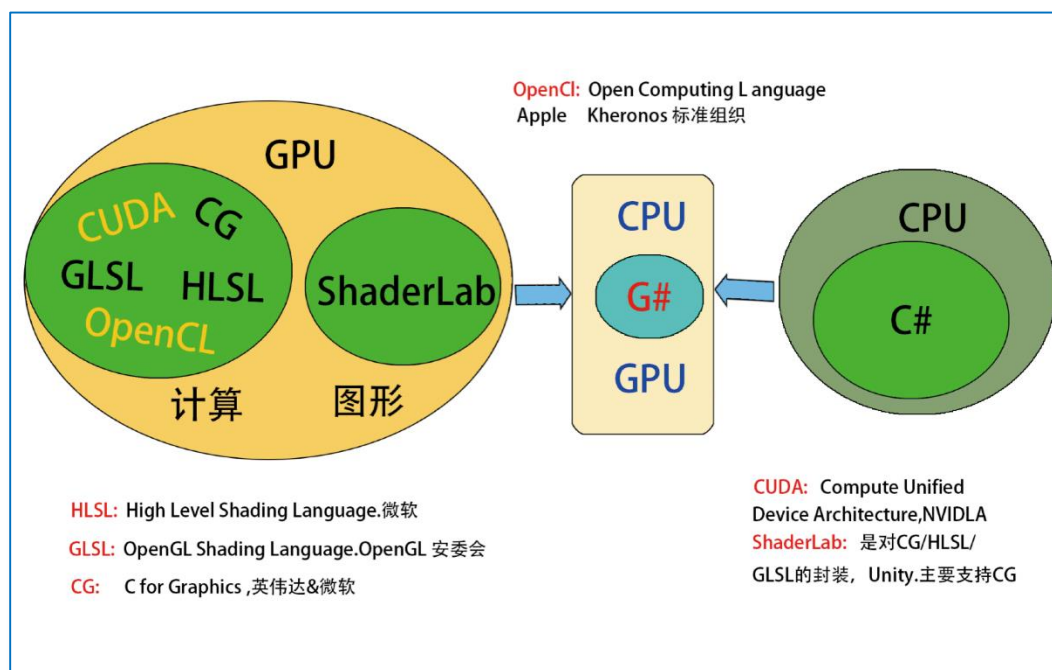


云雷科技技术框架图

## 二、底层技术 G#

### 1、G# 原理简介

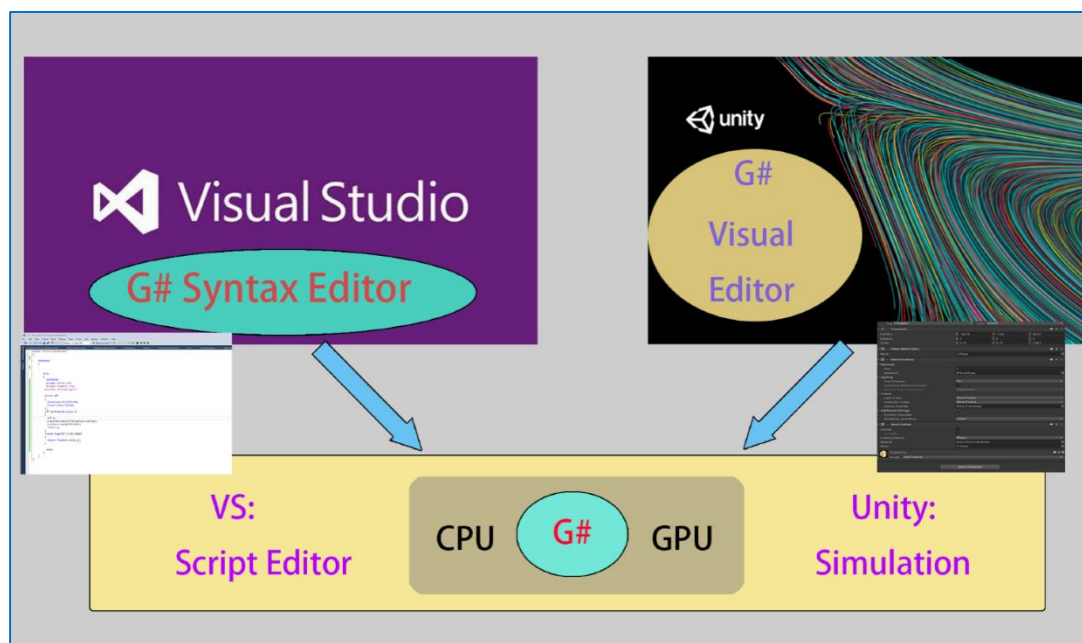
G# 是一款针对显卡运算能力开发的，集设计、实现、调试于一身的软件开发设计平台。拥有以 GPU 为运算基础的完备软件开发系统，面向大数据处理，充分发挥 GPU 并行运算优势，可将普通 PC（含 GPU）算力提升至微超算。支持单台多显卡并联（SLI）技术，实现超级计算机建立，同时支持多台计算机在互联网连接状态下通过 NAT 内网穿透搭建共享 GPU 云计算体系。



G#的语法架构图

G#的语法架构完美融合了 GPU 的并行运算和图形渲染两种语言体系与 CPU 语言体系，实现混合模式编程。G#以 C#语言为基础进行扩展，定义了其常用的数据类型和底层函数接口，并设计了常用类；将 CUDA、HLSL、GLSL、CG 和 OpenCL 等当前计算类程序设计语言和开发工具包的语法体系和结构与 G#无缝高度集成，对 GPU 编程并行计算类进行了高度封装；同时还定义了用于通用虚拟仿真的图形接口，将 ShaderLab 集成到 G#语法体系中，用户通过简单的函数接口调用就可以快速实现三维虚拟仿真和高效的场景渲染，完成了 GPU 编程图形渲染类的高度封装。

G#的编辑编译环境为 Visual Studio，调试环境为 Unity3D，所有调试功能均可应用在材质着色器（material shaders）和计算着色器（compute shaders）上。如下图所示：



G#编译调试环境图

G# 内嵌多功能类库、资源库，在软件开发中不需要额外的 DLL（动态链接库）或插件，提供的资源库包括项目管理，随机数生成，进程间通信，样条函数，数字信号处理和显示，体积渲染（优于行进立方体），位缓冲（优于追加缓冲区），VR / AR 视频处理。并且允许使用者对 G#和现有的资源库进行扩展。G#针对不同应用领域还开发了特定的工具包（Package），包括：音频信号处理、数字图像处理、深度学习等。同样允许使用者利用 G#开发和发布新的工具包。

## 2、G#的技术应用

目前 G# 已被用于表面波，三维地震波传播，星系模拟，全波形断层扫描/全息反射，离散元素建模、虚拟仿真等技术领域；在数据处理方面，可利用人工智能、深度思考等算法体系，对不同模态的数据（文本、数字、图像、音频、视频等）进行数据建模和数据分析；在信号处理方面，可以对不同类型信号（电信号、电磁信号、光信号、声音信号等）进行信号分析处理，并进行可视化图形显示；在算力提升方面，通过架构设计和算法优化，

提升普通 PC 至微超算算力，通过 P2P 网络连接下，云计算共享功能，搭建 GPU 超算集群，实现超级计算机超算算力。本公司已通过 G#开发出了崩塌落石模拟软件系统，高速列车声学扫描系统和锚索墙设计系统等商业应用系统。公司仍在继续开发 G#软件架构以达到不同领域的功能要求，未来将会开发出更多的应用系统。

### 3、G#的技术优势

#### 3.1 以 GPU 为运算基础的完备开发系统

G# 通过将 HLSL, GLSL, CG, CUDA 和 ShaderLab 合并到 C# 中的方式，将 GPU 开发所有需要的各种语言合并为一种语言之中，可以实现从设计、实现到调试这一系列完整的 CPU 和 GPU 的软件开发过程。

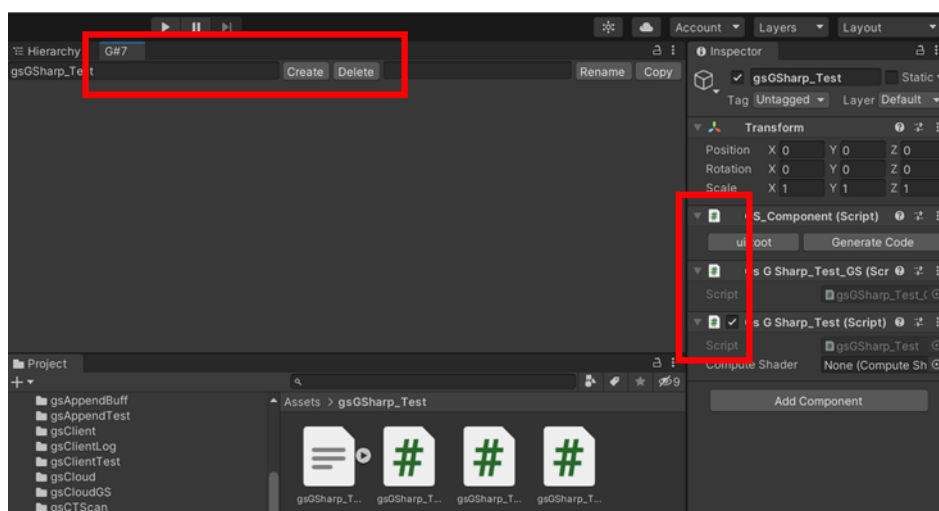
#### 3.2 操作简单、兼容性强

在界面操作方面，G#提供代码自动生成功能，使用者只需单击鼠标即可完成所有的类、对象和资源库的生成工作，并与 Unity 的用户界面相结合，为使用者提供了更多的便利。并且拥有可视化编程功能，可以通过编程窗口完成类代码编程任务。

在开发工具方面，G#兼容 Visual Studio 和其他的 IDEs（集成开发环境）所提供的开发和调试工具，并不需要使用者自己提供额外的插件。

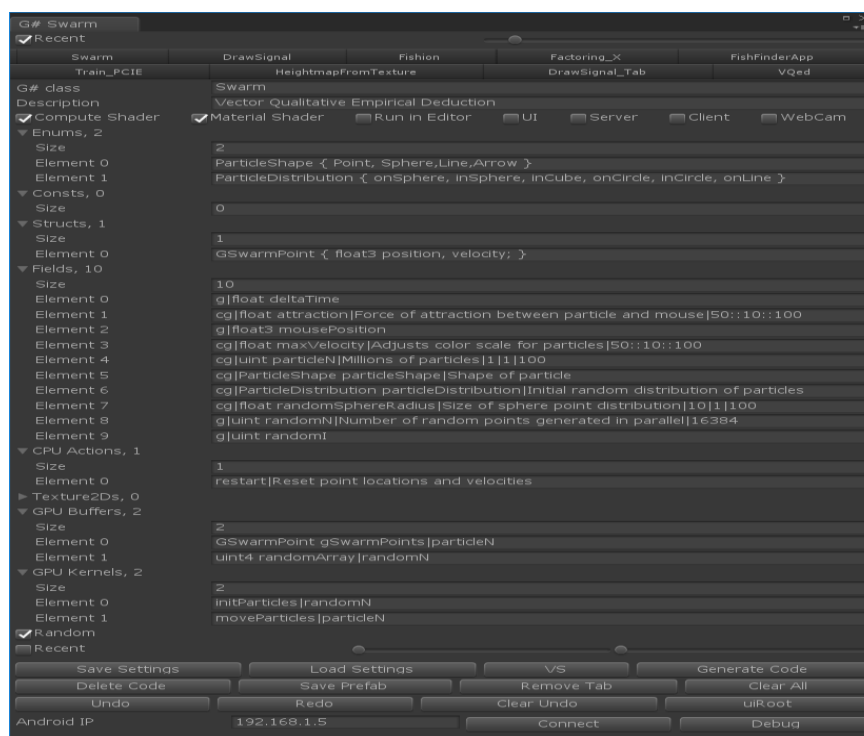
#### 自动生成代码功能案例

在 G#窗口下，输入要创建的 gameobject，点击 create 开始创建。创建后的 gameobject 会自动生成一个 folder 在 assets 中，并且在 Inspector 窗口中会自动生成三个 Script，分别为设置 UI 的脚本，设置变量的脚本和编写代码的脚本。



## 可视化编程案例

定义一个名为“Swarm”的类，注释为‘矢量定性经验演绎’，在下列属性中填写想用的数字以及所需要的 CPU 和 GPU 计算空间，即可保存设置和生成相应代码。



### 3.3 丰富的资源库和工具包，功能强大

G# 提供的资源库包括项目管理，随机数生成，进程间通信，样条函数，数字信号处理和显示，体积渲染（优于行进立方体），位缓冲（优于追加缓冲区），VR / AR 视频处理。针对不同应用领域还开发了特定的工具包（Package），包括：信号处理、数字图像处理、深度学习、数据可视化、数据分析及数值计算等。用户还可以利用 G#开发和发布新的资源库和工具包。G#应用范围非常广，主要包括各种信号（电磁信号、声音信号、光信号等）和图像、视频处理、网络通信、测试和测量、数据建模，以及 CAD、CAE 等众多领域。利用附加的工具包，能解决绝大部分工程与科学研究问题。在数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统建模和仿真等诸多强大功能应用方面，可以替代数学软件 Matlab 使用，以解决 Matlab 软件在国内被禁用的难题。

### 3.4 实现普通 PC 微超算，解决高端芯片“卡脖子”难题

随着摩尔定律的逐渐失效，芯片工艺制程也逐渐进入瓶颈期。通过芯片硬件工艺制程的提升来提升算力，效力也逐渐降低。G#通过自身架构的创新和并行算法的优化，使得普通 PC 能够达到微超算算力，通过软件的提升来使得普通芯片达到高端芯片的计算性能，以解决目前国内高端芯片领域被卡脖子的难题。

从运算速率方面上看，G#通过将 CPU 中的代码转换到 GPU 上运行的方式，减少了 CPU/GPU 之间内存传输所消耗的时间，极大的提高了程序的运行速率，实现了所有计算过程都在 GPU 上完成的功能。例如，在 CPU 上读取大型 LIDAR 文件的 ASCII 数据需要 3 分钟。而通过 G# 将此时间缩短为 4 秒，其中大部分时间是花费在从硬盘驱动器读取文件并将文本发送到 GPU 的过程。

2018 年曾与谷歌神经网络针对深度学习图像分类的经典案例猫狗识别进行训练速度对比，该数据集 40,000 张图像，其中猫和狗的图像分别 20,000 张。训练集 32000 张，测试集 8000 张。输出 8 个结果，分别为 7 种不同品种的猫和狗，以及非猫非狗。

对比结果如下：

平台	谷歌神经网络	G#神经网络
投入比较	1000 台电脑，每台电脑采用 16 核心 CPU，相当云 16,000 核心云计算。	1 台电脑，双显卡（2*GPU）和台式机 CPU。
硬件投入成本（现价）	中央处理器：Intel Core i9-9960 X-Series:，800USD 主板：X299 均价，350USD 内存：2*16G，150USD 硬件成本= (800+350+150)*1000=1,300,000USD	显卡：GPU 2080 Super 均价，800USD 主板 中央处理器：Intel i7-9700K, 330USD 主板：Z390, 均价 250USD 内存：2*16G，150USD



	约人民币 8,996,000 元。	硬件成本=  ( 800*2+330+250+150 ) = 2330 USD 约人民币 16,310 元
学习时间	3 天	3 分钟
准确率	80%	100%
运行速度	比世界最高水平快 70%	1500 倍谷歌神经网络速度
特点	采用（卷积神经网络）CNN	支持深度思考（Deep Thinking），采用经验方程和参数分析方法

### 3.5 云计算共享功能，提供超算集群算力

G#提供一种多用户多终端的连接架构，在单台 PC 提升至微超算算力的基础上，通过 NAT 穿透技术（P2P）实现在互联网连接下的多台计算机之间连接共享任务的功能，可实现 GPU 超级云计算集群，以更低的成本实现超级计算机的超速算力。

使用 G#云计算共享功能，通过 P2P 架构网络连接，将分布在不同区域的服务器和终端 PC 进行连接组网，实现端对端的数据传输和共享，进行分布式存储和分布式数据计算。用户数越多，超算集群整体算力越强，实现的 GPU 云超算集群的特点如下：

**去中心化：**超算集群网络中的资源和服务分散在所有结点上，信息的传输和服务的实现都直接在结点之间进行，可以无需中间环节和服务器的介入；

**可扩展性：**在超算集群网络中，随着用户的加入，不仅服务的需求增加了，系统整体的资源和服务能力也在同步地扩充，始终能较容易地满足用户的需要。整个体系是全分布的，不存在瓶颈。理论上其可扩展性几乎可以认为是无限的。

**健壮性：**超算集群架构天生具有耐攻击、高容错的优点。由于服务是分散在各个结点之间进行的，部分结点或网络遭到破坏对其它部分的影响很小。能在部分结点失效时能够自动调整整体拓扑，保持其它结点的连通性。超算集群网络以自组织的方式建立起来的，并允许结点自由地加入和离开。还能够根据网络带宽、结点数、负载等变化不断地做自适应式的调整。

**高性能/价格比：**采用超算集群架构可以有效地利用互联网中散布的大量普通结点，将计算任务或存储资料分布到所有结点上。利用其中闲置的计算能力或存储空间，达到高性能计算和海量存储的目的。通过利用网络中的大量空闲资源，可以用更低的成本提供更高的计算和存储能力。

**隐私保护：**在超算集群网络中，由于信息的传输分散在各节点之间进行而无需经过某个集中环节，用户的隐私信息被窃听和泄漏的可能性大大缩小。此外，目前解决 Internet 隐私问题主要采用中继转发的技术方法，从而将通信的参与者隐藏在众多的网络实体之中。在传统的一些匿名通信系统中，实现这一机制依赖于某些中继服务器节点。而在超算集群网络中，所有参与者都可以提供中继转发的功能，因而大大提高了匿名通讯的灵活性和可靠性，能够为用户提供更好的隐私保护。

**负载均衡：**超算集群网络环境下由于每个节点既是服务器又是客户机，减少了对传统 C/S 结构服务器计算能力、存储能力的要求，同时因为资源分布在多个节点，更好的实现了整个网络的负载均衡。

### 三、产品应用

基于 G#完备的开发体系及高速数据处理能力，结合对比电磁信号、声音信号、光信号等不同特性与分析处理经验，率先自主研发在声学方向应用的相控阵声纹雷达系统。

#### 1、声音检测基本原理

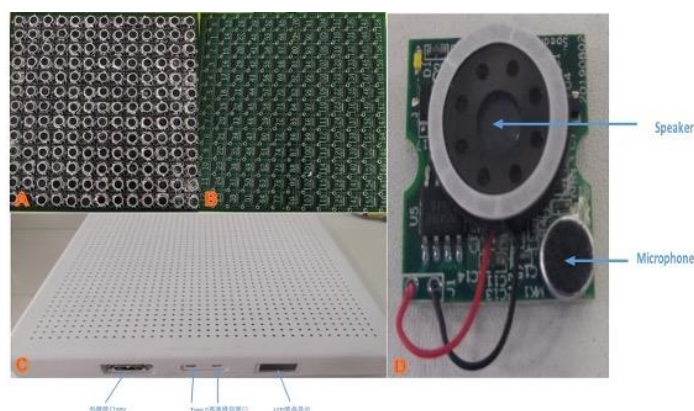
通过可闻声声纹检测的基本原理，类似于超声和声纳的声音成像的原理，同样是通过计算声音穿过不同介质反射、折射后的声波的传播速度、频率不同，来提取被检测物体的声纹特征，再利用计算机图形处理算法，对不同的声纹波形赋值，形成可视化图像。区别与目前超声和声纳传统声音处理方式的是，可闻声声波采集和处理过程中，结合相控阵成像和麦克风阵列的信号处理方法，通过相控阵成像技术，控制不同传感器通道 Speaker 的相位，即按照一定的时间间隔发声来控制声束的方向，来实现对检测物体的扫描、聚焦的目的；通过多传感器通道组成的麦克风阵列，使用空间线性预测方法，处理大量麦克风之间的冗余信息来获取更加准确的信号处理结果。

## 2、相控阵声纹雷达系统介绍

### 2.1 相控阵声纹雷达硬件系统

整个声纹雷达主系统是由三个子系统构建组成，分别是**声音发射与接收系统**、**通信控制器**和**数据处理终端**。各个子系统均使用 USB3.0 接口，利用光纤进行连接，完成相关数据的输入与输出。

(1) 声音发射与接收系统的基本单位为**传感器单元**，每个传感器单元都是由一个独立声音发射装置（扬声器，Speaker）和声音收集装置（话筒，Microphone）共同组成，大小为 22mm\*22mm，完成被动声音采集和主动发放声波并采集反射回来的声波。将 169 个传感器单元按照顺序排布（编号）并集成为一块面板，作为声纹雷达的一个面阵，整个声音发射与接收系统是由六块这样的面板所构成，形成一个完整的**声纹雷达阵面**，使对声音数据的收集达到最好的效果。（图 1）。



A: 传感器安装后的结构实图，每块面板由169个传感器单元构成；  
B: 传感器单元按照一定的顺序进行排布，以用于声纹信号接收与定位；  
C: 安装完成后的面板外观，包括电源接口、高速通信接口和LED液晶显示；  
D: 单个传感器单元结构，包括声音发射装置（Speaker）和声音收集装置（Microphone），传感器单元的尺寸：22mm\*22mm

图 1 声音发射与接收系统结构

(2) 通信控制器通过与数据处理终端的高速通信连接，实现对扬声器（Speaker）和话筒（Microphone）的数据更新及双向传输。通信控制器将来自终端的实时更新的扬声器数据以及来自话筒不断接收的新鲜数据，通过 USB3.0 TX 通道写入到 USB 控制盒中，由 DDR3 组成的一个环形队列来对数据进行实时缓存，经 SFP 发送模块负责把数据从一个大的环形数组中按照先后顺序实时更新，再由 SFP 的发送端口将数据发送到每个 Panel 上，由每个 Panel 根据协议把对应的数据更新到每个扬声器上，或将数据打包组帧发送到数据处理终端，进行校验后传输给 3D 算法进行处理（图 2）。



图 2 通信控制器实时采集 Microphone 数据和播放 Speaker 声音信号模式图

(3) 系统工作时，首先由面板收集外界的声音数据，包括被动收集物体发出的声音以及主动向物体发出声波而后收集物体反射的声波；然后经光纤将数据传输至通信控制器，在此声音数据将被转为电信号，并传入电脑终端；最后，数据在终端经过软件处理后，特别是进行信号识别与放大后，将以图像及数字的形式在监视器上显示（图 3）。

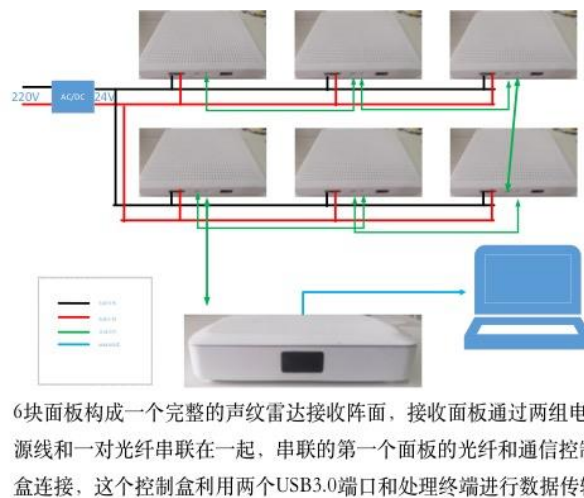


图 3 声纹雷达系统工作示意图

## 2.2 相控阵声纹雷达声波处理技术

### (1) 单个传感器单元对于声源传播距离参数获取

根据单位时间内声音在相同或不同介质中的传播距离，可以计算出规定时间间隔内（诸如 1 秒、1.1 秒等）的声音信号的传播位置以及下一时刻的传播的方向矢量，对相关数据进行收集，就可得到以**物体声源**为中心、以**扬声器声源**播放随机信号为起始时间的声音传播距离等参数的示意图。

然而，如果在一个三维空间中有且只有一点可以将声波进行反射，仅利用一个扬声器和一个话筒是无法对反射点进行定位的，因为这个反射点将位于以扬声器和话筒为两个焦点、以总距离一半为长焦距的椭圆上，但在总传播距离恒定、两个焦点位置已知的情况下，是无法得知这个椭圆的具体空间位置的。

### (2) 多个传感器单元对于目标声源空间位置的准确获取

根据之前声波传递距离理论，在一个传感器单元（扬声器和话筒）的基础上增加传感器单元数量，则可根据不同的扬声器和话筒信号分别获取的反射点声音信息计算得出不同的总距离相等的椭圆。当有两个椭圆存在的情况下，二维世界中唯一反射点的位置可能存在于两个椭圆的交点位置，在第三个接收器加入时，则可精确定位到空间中唯一的反射点。如果一块雷达面板所有传感器单元中的扬声器同时发出声波，所有话筒分别接收信号，则可以同时采集到该反射点  $10^6$  的信号，利用信号波的叠加原理进行处理后，可以得出这个反射点非常精确的放大信号。此即**声纹雷达所使用的逐点扫描、声源定位的理论基础**。

### (3) 声源的声纹信号识别与放大

理论上，当存在一个扬声器，1000 个话筒时，检测的声学信号可达到  $10^3$ ，当  $10^3$  个扬声器同时发出某个频段的声音， $10^3$  个话筒实时接收声音，第一次反射得到信号可达到  $10^6$  次。利用 1000 频道扬声器对所有频率响度等不同的声学信号进行声音播放，最多可以实现  $10^{15}$  次第一次的信号回收。利用相控阵雷达的信号反射原理，相控阵依照聚焦法则控制各个单元声音发射和接收信号的时间，由于时间差的存在，每个单位发射声波的波阵面在空间中传播逐渐汇聚成一点，从而达到声束聚焦的效果，所有波形信号通过圆盘反射聚集到一点，即可实现信号放大的作用。

### (4) 噪声处理

利用传感器单元获取的关于声源物体的时间、距离以及声音传播速度，首先精准定位该物体的位置。对于同一时间所收集到的声音数据，采用快速傅里叶变换方法进行分离，将同一时间获取的具有共同波形的声音信号标注在空间之内。通过将所有一切可用的声源信号还原到空间内的原始位置而非主动过滤噪音信号，与已知声源的物体空间位置进行拟合，即可精确发现该物体的特征性声音信号波形，即该物体的声纹数据，再对其赋值颜色后进行三维成像，可以获取相关的数据信息。

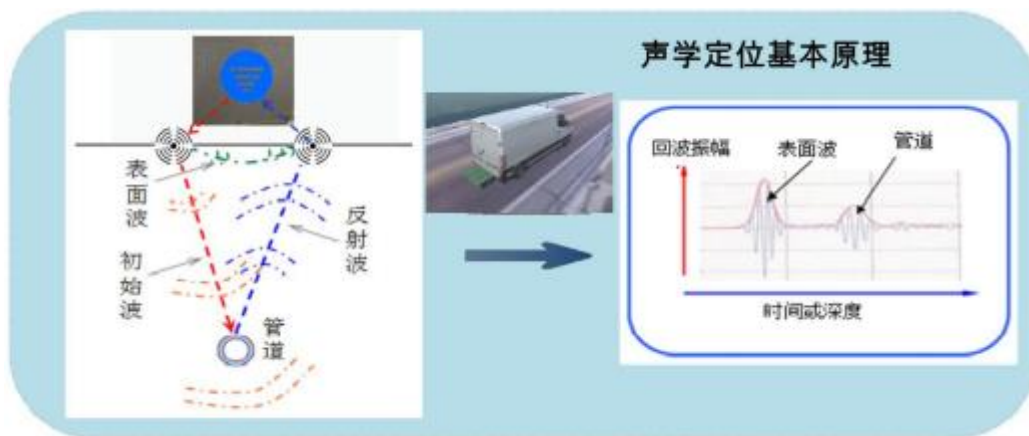
### 3、应用场景

基于 G#与相控阵声纹雷达结合，开发出的技术产品可用于军事安全、医疗、智能安防、地质勘探、地下管网探测、道路桥梁探测、无损探测、灾难预警等各个领域，目前该技术产品在医疗领域和地下管网探测领域处于现场数据采集、完善模型、产品测算阶段，即将产业化应用。

#### 3.1 地下管网探测领域—地下管线智能探测设备

##### (1) 基本原理

地下管网智能探测设备同样是使用相控阵声纹雷达系统可闻声波分析成像的原理，采用 4 块面板，676 通道传感器单元，先由系统中 speaker 发射声波，声波穿过地层结构和地下管网，由于不同介质的密度差别，反射、折射后的声波传播时间和声波的频率不同，利用反射声波到达声音传感器麦克风的时间差异，来还原被检测物体介质密度和强度等参数，利用人工智能深度学习的训练方法，对声学模型进行不断地迭代，使得接收到地声音信号与实际场景一致，直到无论怎样修改模型参数，各传感器单元收到地信号误差为零，来确保检测设备地精准度，实现对地下管网不同材质管线进行探测的目的。



以地下管道探测为例，使用地下管线探测设备实现声学定位探测时，传感器阵列上的扬声器发射多束短声波脉冲到地面，如上图左侧所示。管道从任何不连续或带有不匹配声波阻抗中反射回声波，不同的传输介质对回波的采集影响均不同。一般来说，固体和气体（如天然气管道里面）的接触面反射系数为 100%，土壤与通用管道外或岩石接触面的反射系数均较低。智能探测装备接收器接收到表面波和管道反射波，其振幅情况如上图右侧所示。一般情况下，增加声波频率可提高其辨识小管道和附近管道的能力，但是随着频率的增加，土壤的衰减能力也越大，对不同埋深的管道，基于土壤衰减特性应设置最大使用频率，根据不同的土壤类型、湿度和夯实情况，其衰减值的范围为 0.1 到 0.9dB/KHz·cm，衰减系数取决于地面条件（如冰冻土壤）。

针对地下管廊相关不同材质的基本测试分析，目前已经利用安装调试好的车载设备采集道路及地下管网的原始声音数据，需要进一步分析处理原始数据，提取不同材质所对应的声波特征，通过深度学习的方法，完善地下管网领域的声学模型，提高检测结果的精准度。具体的测试结果还在验证中。

## (2) 探测声源

主动发声利用设备上自带的 speaker 发声，同时发射固定频率的声波或者利用相控阵雷达原理，控制不同通道 speaker 的发声时间来控制声束和聚焦方向，对检测区域进行逐点扫描，将反射回的声波到达时间进行计算处理，确定不同密度和强度的介质分布，以实现地下管网探测的目的。

主动发声的探测方法：用探测设备中 676 个传感器阵列中的扬声器发出固定频率 20hz 的声波，同时阵列中的麦克风接收频率 20-20k hz 的反射声音信号，麦克风接收到不同传播时间和频率的反射信号，即设备采集到的原始数据，先通过声源定位算法将整个环境中的声场进行还原，然后对地下管线检测区域内的反射信号再根据反射时间的不同，利用离散元建模（DEM 模型）对应出不同介质的密度和强度，再通过计算机图形算法，将不同介质的密度和强度数值转换成对应的像素值，形成最终的检测成像结果。

当所有扬声器同时发声时，检测区域为设备垂直地面覆盖的范围；当所有扬声器，以相控阵的方式，不同通道以不同间隔时间依次发射声波，来控制声速的方向，以扩大检测设备覆盖的检测范围，或者声束聚焦为一点，对目标区域进行精准探测（详细声音处理方式可参考第二部分“声音信号识别和放大”）。以目前 4 块面板，676 通道传感器线性阵列分布为例，当所有扬声器同步发声时，对地下管线检测宽度范围为 1.6-2.0 米，以相控阵扫描方式检测宽度范围 3.0-5.0 米，如要提高检测宽度，可通过增加面板数量，增长检测设备的阵列分布长度，来增大检测的宽度范围。

## (3) 探测深度

监测的深度受两个因素影响：时间的长短和声音能量的大小。理论上，音持续时间越长，声音能量越大，穿透地层的深度越深，反射的信号越多，可以监测的深度越深。

由于地下管网的目标探测深度在 5-10 米，按照声音在空气传播的速度 340m/s 来计算，10 米的探测距离仅需 58 毫秒，更何况在固体中传播速度是空气中的数十倍，理论上可以实现车载设备在正常行驶过程中进行采集探测，并实现实时呈现可视化检测结果。

目前所使用的能量方案是在车身增加铁链或者安装雪地轮胎，作为外部固定声源，由铁链或雪地轮胎与地面的摩擦，产生的振动发出声波信号，以此来提升声音能量的传递，达到信号增强的目的，目标探测深度在 5-10 米，远超目前探地雷达和其他管线探测设备。



基于目前的开发进度，探测设备的目标响应效率是做到数据秒处理，实时呈现可视化探测结果，目标探测宽度为 3-5 米，探测深度为 5-10 米，此数据为目标探测范围数据。

#### (4) 探测精度

通过相控阵阵列传感器提升精度，通过声音反射的速度计算来迭代模型，最终分辨出不同地层的密度和图像。可以通过声束聚焦，提升局部区域的分辨率，最高可达到毫米级，比如将 10\*10\*10 米的区域分辨率提升至 1\*1\*1 厘米，将原分辨率提升 1000 倍，类似于显微镜的功能，来提升精准度。

#### (5) 地下管线探测设备技术指标

探测发声频率：20hz，200hz，2000hz，20000hz（最高 20000hz）

接收频率：20-20000hz

传感器通道数：1014/676

采样频率：48000hz

数据通讯：光纤传输

通讯速度：1000M/S

采集速度：80M/S，5G/M

供电：24v 电源

工作时间：连续工作 10 小时以上

尺寸（cm）：40\*160\*4.5

重量：35 公斤

### 3.2 医疗领域—声纹综合检测诊断系统

非接触式人工智能低频声纹综合检测诊断系统是世界上第一个使用 AI 技术监控活体状态下人体细胞声音的，综合、多层次、分子水平（0.2um）动态监测系统，具有无接触、无辐射、高实时、高精度以及成本低等特点。该系统目前已进行了临床数据采集，并申报了科技部“十四五”规划国家重点研发计划中“诊疗装备与生物医用材料”重点专项。

#### (1) 基本原理

声波作为一种机械能的表现形式，是观察和测量的一种重要手段，利用声源发出声波照射到物体，使用接收设备接收反射回来的声波信号，对信号的强度等特征进行分析（多普勒效应），即可准确判断该物体的空间位置、运动速度和方向；而利用接收设备接收物



体自身所发出的声频信号，通过对声音信号强度、频谱信息特征等进行分析处理，并与声纹数据库中的数据进行比照，即能获知该物体具体信息。而对于人体来讲，呼吸音、心音、心脏杂音等人耳可听到的声音，是由于气流通过气管、心肌收缩以及瓣膜关闭等形成，由于声音频率的范围受到发出声音器官的形状、尺寸和位置的影响，因此每一个声音都具有独特的特征，就如同人的指纹、面纹一样，有经验的临床医生利用“听诊”检查，发现异常的呼吸音和心音，无论是音频还是音调的改变，可以准确判断机体病理生理变化的发生，如气道阻塞、肺炎、心脏瓣膜疾病等。

声纹综合检测诊断系统，通过收集有关的声纹数据，同时与其他临床数据进行同步分析，建立声纹数据库和疾病声纹模型，用以揭示发生疾病器官的声纹特征与其病理生理改变间的联系，同时结合 GPU 运算和三维图像重建技术，使声音数据从机械波信号转变为数字和图像，能够更加直观反映脏器功能变化以及病理生理改变。当导入新的患者数据时，通过大数据处理和模型比对，系统将帮助医生更快更好的完成临床诊断和制定治疗方案，同时也能帮助患者建立更加完善的个人健康档案。由于疾病过程是一个不断变化的病理生理过程，现有的连续生命体征监测技术无法做到实时监测诸如肺呼吸音、心音、心脏杂音、肠鸣音等生命体征信息，因此并不能实时准确的对于病情变化尤其是微小的病情改变做出预警，比如肺炎患者气道粘液增多与其感染的严重程度及面积有关，但一段时间内患者心率、血压、呼吸频率及血氧饱和度等指标可能不发生改变。

## (2) 适用范围

针对心肺疾病的早期诊断、心肺肿瘤原发灶寻找、良性疾病与恶性肿瘤鉴别诊断等，可以用于心肺疾病的初期筛选与诊断，以及心肺疾病重症患者的生命体征监测。为心肺疾病患者早期发现、实时监测提供一种安全、简便、高精度、高可行性的诊疗监护设备。可以逐步替代目前大部分医疗影像设备。

## (3) 检测过程

利用声纹雷达系统收集临床相关的声纹资料，包括心音、呼吸音、血液流动的声音、语音传导等声音，在终端上对声音信号分别进行识别、放大、分析并进行三维成像处理，通过将健康人群某一种声纹数据与相关疾病（如重症肺炎）的该种声纹数据进行对比分析，特别是将声纹数据特征性表现与该疾病的临床症状、体征、影像学改变等进行比较分析，从病理生理、诊断学等多个维度建立起针对这一疾病的声纹模型，并对检查结果生成病理级检测报告。

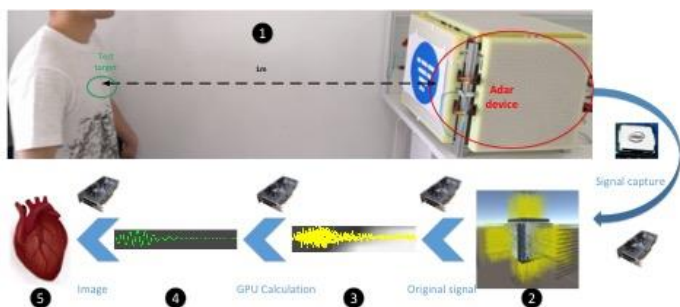


图12 声纹雷达收集声纹数据模式图

步骤1将声音收集和发射定位于特点部位；步骤2利用声纹雷达收集声音，包括回音；步骤3将收集到的所有声音信号传入GPU处理器；步骤4在终端处理器利用软件滤除杂波，获取所需的声纹数据；步骤5利用GPU算法将声纹信号转为数字及图形信号反映监测器官的功能状态。



#### (4) 监测精度

利用 1014 个声音传感器通道中的扬声器主动发射信号，同时利用传感器通道中的麦克风来接收反射折射的声波信号和外界的各种声音信号。首先通过声源定位，将环境中的声场与实际场景进行还原，然后根据人体中不同组织结构反射声波的速度和被接收的时间不同，来确定出被监测器官的内部结构，利用计算机图形计算算法，进行三维还原成像。然后，对已经精准定位的肺呼吸音、心音、心脏杂音等生命特征信息进行持续监测。经过计算机高速运算合成高分辨率的三维点聚焦的立体信号，其分辨率可达波长的百万分之一。理论上，可以实现微米级别的分辨率（细胞：0.2-10 微米）成像结果。

#### (5) 产品优势

**病理级报告输出：**基于 1014 高精度声音传感器通道阵列和高速强大的并行运算能力等颠覆性技术创新，提高三维成像和检测结果的精准度，真实还原患者心肺组织中的微小病灶，实现全方位、多层级，动态影像，分子级别（0.2um）极高分辨率，可在活体状态下对人体器官进行实时细胞级检测，并生成病理级检测报告。

**非接触式检测：**清晰收集到患者的心音和肺音，不需要患者与设备进行接触；系统可适用于多样的工作场景，不受限制；可在不影响病人正常作息的情况下，进行检测和诊断。

**多目标检测：**本系统利用声波定位技术，对可接受距离内的多位患者准确定位，并完成心音和肺音的数据收集，实现多目标监控的功能。

**实时成像：**本系统采用 GPU 高速运算技术，提高数据分析运算处理速度，实现对监测目标的实时三维成像，早期发现微小病灶。

**安全无辐射：**对患者没有辐射危险，对身体无害；使用简便、高效，无需复杂的操作规范，更易于在临床上特别是基层医疗机构甚至是家庭环境中使用。

**综合成本低：**采用已经成熟的扬声器和话筒技术；面板芯片实用性高且价格相对低廉；软件运行的电脑主体，使用的是具有高性能显卡的 PC 端，无需特殊定制。

(6) 设备技术指标：

探测发声频率：20hz，200hz，2000hz，20000hz（最高 20000hz）

接收频率：20-20000hz

传感器通道数：1014

比特率样本：48 位（bit）500ksps

数据通讯：光纤传输

通讯速度：1000M/S

采集速度：150M/S，10G/M

供电：24v 电源

工作时间：连续工作 20 小时以上

尺寸（cm）：80\*120\*4.5

重量：35 公斤

## 四、过往案例

### 1、三维落石模拟系统

该软件主要通过模拟崩塌落石的运动轨迹，来预测对山体植被、道路、村庄等造成的影响，从而给出不同的防护措施。可通过激光雷达等设备，获取山体坡度等几何数据，系统模拟出成千上万不同大小、形状等参数的落石，并考虑山体坡度、植被、落石之间作用和运动等复杂因素，计算出运动轨迹。其高速并行运算能力和离散元数值建模的方法也用在目前地下管线探测设备的软件开发中，来解决多通道采集的数据处理和声学模型搭建。

科罗拉多三维落石模拟系统是由美国交通部联邦公路管理局牵头，现被世界各国广泛应用的软件。该软件可预测复杂情况下，落石的路径与撞击效果，从而为不同防护措施提供指导意见。其精确度领先于国内顶尖落石模拟技术。该模拟系统利用离散元方法（数值计算方法用以模拟大颗粒在给定条件下的运动）结合动力学方程模拟山石在斜坡表面的运动，包括撞击，滚落，着地和滑落。系统可以精确预测落石与斜坡每段部分的路径以及

非圆形落石的运动情况。此外，该系统采用人工智能，神经网络等分析方法对设计变量进行反演计算并自动得出坡体粗糙率，岩体硬度，反弹系数，落石碰撞系数等参量。计算完成后软件能自动记录计算成果，设计参数，图表等并按用户提供的格式产生工程报告。该系统是世界上第一套完全用 GPU 运行的软件，是美国联邦高速公路署唯一指定规范软件 (规范编号：FHWA-CFL/TD-12-007)。

链接：<https://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/12nov/12nov01.cfm>

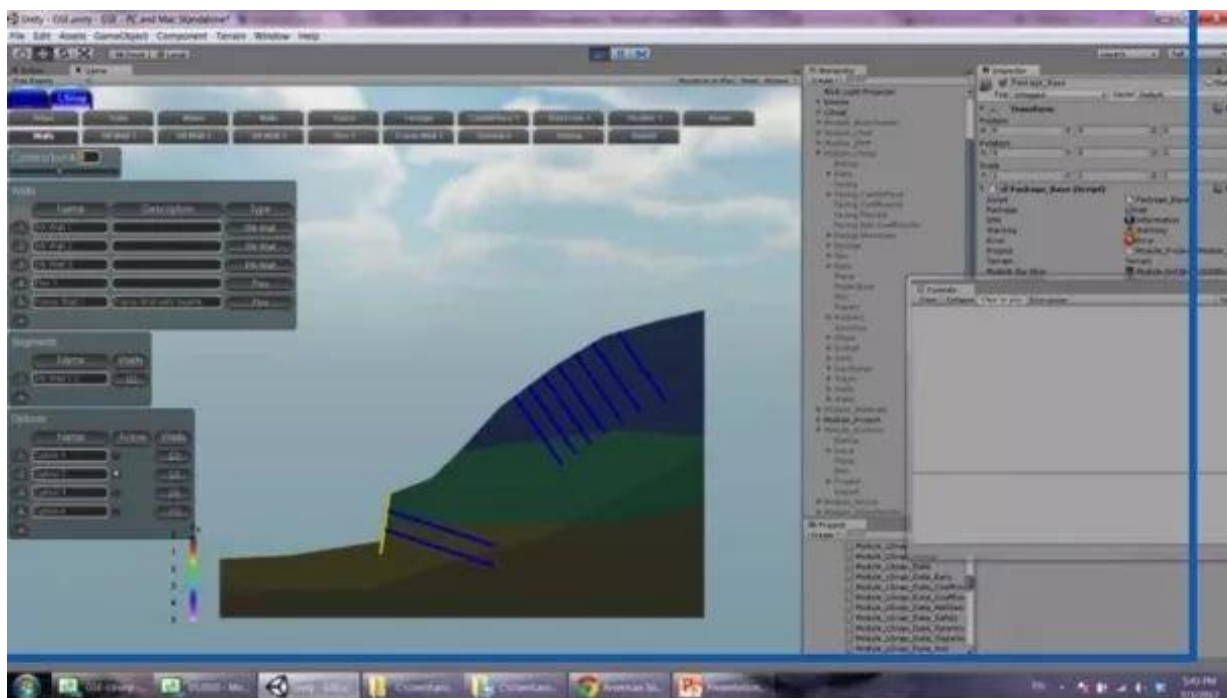
美国交通部联邦公路 管理局官网新闻

## 2、锚索墙设计系统

该软件是全球第一套真正加入人工智能的软件系统，是美国联邦高速公路署指定规范软件（编号：FHWA-SA-96-069R），可实现滑动分析、承载能力分析、渗流分析、墙体强调分析、锚头强度分析、地震动力分析、坡体变形分析以及工程报告与图表自动生成等功能。

该软件系统可在下列链接中查询更详尽的介绍

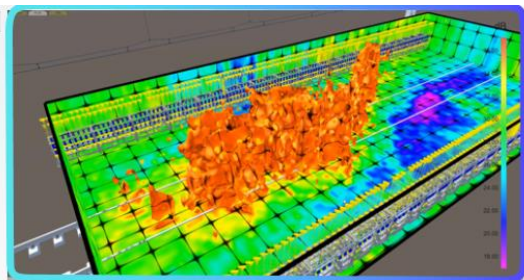
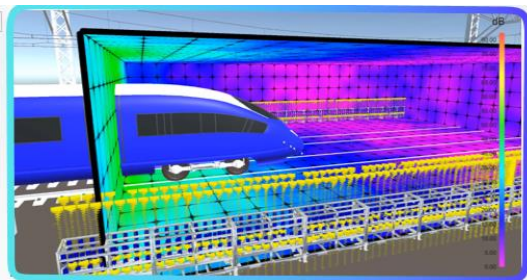
<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/software.cfm>





### 3、高速列车声学安全扫描系统

高速列车扫描系统安装在铁轨做过数据采集测试，测试过程是将 1024 声音传感器单元安装于高铁轨道两侧，当高铁以正常速度行驶时来接收声音信号，通过计算处理得到高铁行驶过程中的三维声场热力图。如下图，分别是扫描系统硬件设备，以及软件生成的三维可视化图像。



高速列车声学安全扫描系统是全球第一个检测微小变化的计算机人工智能系统。该系统可以检测到全速行驶的高速列车的关键部件车轮，轴承，车轴，弹簧的微小变化，并根据关键部件的变化实现在高风险早期给出预警。通过安装的声学阵列传感器，收集高速行驶列车在 3-4 秒间行驶过传感器的所有声学信号，将收集到的大小为若干千兆字节的声学信号通过我公司专门设计，用 GPU 多线程运算的模型模拟软件进行大数据分析，人工智能处理，经过超级运算，给出相应预测结果和预警。其精确度可以精准到问题部位的 2 毫米 (MM) 之内。目前正在我国高铁领域开展过实际场景测试。