Unreal Engine 5 C++ Multiplayer Shooter

1 知识

1.1 C++事件与委托

2 创建项目

2.1 Project Creation

2.2 Test an Online Session

2.3 Assets

2.4 Retargeting Animations

2.5 Blaster Character

2.6 Camera and Sping Arm

2.7 Character Movement

3 武器

3.1 FABRIK

3.2 Turning In Place

3.3 Rotate Root Bone

3.4 Net Update Frequency

3.5 Footstep and Jump Sounds

3.5.1 多播RPC的核心特点

3.5.2 多播RPC的底层原理

3.5.3 多播RPC与其他RPC的区别

3.5.4 在蓝图中使用多播RPC（以播放声音为例）

3.5.5 多播RPC的适用场景

3.5.6 注意事项与优化

3.5.7 调试多播RPC

3.5.8 总结

4 射击武器

4.1 Projectile Weapons

4.1.1 Hit Scan VS Projectile

4.1.2 UPROPERTY

4.1.3 Collision

4.2 Fire Montage

4.3 Fire Weapon Effects

4.4 Weapon Effects in Multiplayer

4.4.1 RPC

4.4.1.1 1. RPC 的核心作用

4.4.1.2 2. RPC 的三种类型

4.4.1.3 3. RPC 的工作原理

4.4.1.4 4. 使用步骤（以 C++ 为例）

4.4.2 CODE

4.5 The Hit Target

4.5.1 帧同步&状态同步

4.5.1.1 帧同步

4.5.1.2 状态同步

4.5.2 CODE

4.6 Spawn the Projectile
4.7 Projectile Trace
4.8 Projectile Hit Events
5 健康情况以及玩家统计
5.1 Game Framework
5.2 Health
6 弹药
7 匹配状态
7.1 On MatchState Set
7.2 Spawn Rocket Trail
7.3 Rocket Projectile Movement Component
7.4 Hit Scan Weapons
7.5 Fire的整个流程
7.5.1 Fire 调用流程图
7.5.2 详细调用流程
7.5.2.1 1. 输入处理阶段
7.5.2.2 2. 战斗组件处理阶段
7.5.2.3 3. 开火逻辑判断
7.5.2.4 4. 网络同步阶段
7.5.2.5 5. 武器基类处理
7.5.2.6 6. HitScan武器特定逻辑
7.5.3 void TraceUnderCrosshairs(FHitResult& TraceHitResult);
7.6 Beam Particles
7.7 ShotGun Reload
7.7.1 Reload流程
7.7.1.1 `void UCombatComponent::Reload()`：重装入口
7.7.1.2 `voidUCombatComponent::ServerReload_Implementation()`：服务器端重装
7.7.1.3 `voidUCombatComponent::HandleReload()`：重装处理
7.7.1.4 蓝图逻辑
7.7.1.5 `voidUCombatComponent::FinishReloading()`：完成重装
7.7.2 弹药更新
7.7.2.1 `voidUCombatComponent::UpdateAmmoValues()`：普通弹药更新
7.7.2.2 ShotGun弹药更新
7.7.2.3 OnRep_CarriedAmmo()

1 知识

1.1 C++事件与委托

https://blog.csdn.net/m0_73800387/article/details/145742459

2 创建项目

2.1 Project Creation

Plugin因为版本产生的问题

1. `OnLevelRemovedFromWorld`不再被使用

```
// virtual void OnLevelRemovedFromWorld(ULevel* InLevel, UWorld* InWorld);
virtual void NativeDestruct() override;

/*void UMenu::OnLevelRemovedFromWorld(ULevel* InLevel, UWorld* InWorld)
{
    MenuTearDown();
    Super::OnLevelRemovedFromWorld(InLevel, InWorld);
}*/
void UMenu::NativeDestruct()
{
    MenuTearDown();
    Super::NativeDestruct();
}
```

2. `SEARCH_PRESENCE`找不到

```
#include "Online/OnlineSessionNames.h"
```

2.2 Test an Online Session

2.3 Assets

2.4 Retargeting Animations

2.5 Blaster Character

2.6 Camera and Sping Arm

2.7 Character Movement

轴和操作映射已经被废弃，在5.1版本之后需要使用增强输入

```
// Called when the game starts or when spawned
void ABlasterCharacter::BeginPlay()
{
    Super::BeginPlay();

    if (APlayerController* PlayerController = Cast<APlayerController>
(GetController()))
```

```
    {
        if (ULocalPlayer* LocalPlayer = PlayerController->GetLocalPlayer())
        {
            if (UEnhancedInputLocalPlayerSubsystem* InputSystem =
ULocalPlayer::GetSubsystem<UEnhancedInputLocalPlayerSubsystem>(LocalPlayer))
            {
                if (BlasterMapping)
                {
                    InputSystem->AddMappingContext(BlasterMapping, 0);
                }
            }
        }
    }

}

void ABlasterCharacter::Move(const FInputActionValue& Value)
{
    FVector2D MoveVector = Value.Get<FVector2D>();
    if (Controller)
    {
        const FRotator Rotation = Controller->GetControlRotation();
        // only get the yaw rotation
        const FRotator YawRotation(0, Rotation.Yaw, 0);
        const FVector ForwardDirection =
FRotationMatrix(YawRotation).GetUnitAxis(EAxis::X);
        const FVector RightDirection =
FRotationMatrix(YawRotation).GetUnitAxis(EAxis::Y);
        AddMovementInput(ForwardDirection, MoveVector.X);
        AddMovementInput(RightDirection, MoveVector.Y);
    }
}

void ABlasterCharacter::Look(const FInputActionValue& Value)
{
    FVector2D LookVector = Value.Get<FVector2D>();
    if (Controller)
    {
        AddControllerYawInput(LookVector.X);
        AddControllerPitchInput(LookVector.Y);
    }
}

void ABlasterCharacter::SetupPlayerInputComponent(UInputComponent*
PlayerInputComponent)
{
    Super::SetupPlayerInputComponent(PlayerInputComponent);

    if (UEnhancedInputComponent* EnhancedInputComponent =
CastChecked<UEnhancedInputComponent>(PlayerInputComponent))
    {
```

```
53          EnhancedInputComponent->BindAction(LookAction, ETriggerEvent::Triggered,
    this, &ABlasterCharacter::Look);
54          EnhancedInputComponent->BindAction(MoveAction, ETriggerEvent::Triggered,
    this, &ABlasterCharacter::Move);
55      }
56
57  }
```

此外，上述代码中未涉及Jump的实现方式，但其实和Move、Look没有区别。

首先在UE中创建input action，然后将其和mapping绑定，随后在C++中使用bindAction绑定，需要注意的是，此处无需实现jump，可以直接使用ACharacter::Jump()作为绑定函数，随后再在UE的Character界面将JumpAction设置为前面创建的Input Action就行了。

3 武器

3.1 FABRIK

CSDN：UE5学习笔记18-使用FABRIK确定骨骼的左手位置

IK Bone 指定的是控制目标，而不是目标手

在 Unreal Engine 5（UE5）中，IK Bone 并不一定是被控制的那只手，而是 IK 计算的参考点，即最终需要对齐的目标位置。因此，在某些情况下，左手的 IK 可能使用 hand_r 作为 IK Bone，而右手的 IK 可能使用 hand_l 作为 IK Bone。

在 IK 计算中，我们需要：

1. **要被 IK 控制的骨骼（Controlled Bone）** → 例如 hand_l（左手）。
2. **IK Bone（控制目标）** → 目标点，例如 hand_r（右手），表示左手要对齐到它的位置。

误解：很多人认为 IK Bone 直接指代被控制的手，但实际上 IK Bone 是一个计算目标，不是一定绑定到被控制的手。

场景：双手握枪（左手 IK 使用 hand_r）

问题：左手需要跟随右手（主手）的位置。

右手 hand_r 主要控制枪的位置；左手 hand_l 需要靠近枪，但不能完全自由运动，否则枪会飘。

IK 目标（Target）应该是 右手 hand_r，因为左手要追随它。

正确设置：Controlled Bone：hand_l（左手）；IK Bone（目标）：hand_r（右手）。

IK 计算：调整左手，使其靠近右手，让左手固定在枪支上。

左手 (hand_l) → IK Bone 指向 hand_r → 让左手对齐到右手的位置

效果：角色左手始终握住枪，不会与右手脱离。

3.2 Turning In Place

3.3 Rotate Root Bone

在 Unreal Engine (UE) 中，`FMath::FInterpTo()` 是一个用于线性插值（Linear Interpolation, Lerp）的函数，通常用于平滑过渡数值，例如对象的位置、旋转或缩放等。它的基本作用是让一个值以一定速度逐步逼近目标值，适用于平滑运动或数值变化。

```
static float FInterpTo(
    float Current,     // 当前值
    float Target,      // 目标值
    float DeltaTime,   // 每帧的时间增量
    float InterpSpeed // 插值速度
);
```

- `Current`：当前数值，即需要插值的初始值。
- `Target`：目标数值，即最终想要达到的值。
- `DeltaTime`：帧间隔时间（通常为 `GetWorld()->GetDeltaSeconds()`）。
- `InterpSpeed`：插值速度，值越大，变化越快。

返回一个新的 `float` 值，该值向 `Target` 方向移动，并受到 `InterpSpeed` 控制。

3.4 Net Update Frequency

```
// in BalsterCharacter.cpp BlasterCharacter::BlasterCharacter()
NetUpdateFrequency = 66.f;
MinNetUodateFrequency = 33.f;
```

在 `AActor` 类中，有以下两个属性控制网络更新频率：

1. **NetUpdateFrequency**

```
float NetUpdateFrequency;
```

- **作用**：设置 **每秒更新次数**（Tick 之间的最小间隔）。
- **默认值**：**100 次/秒**
- **影响**：值越大，Actor 在客户端上的位置、状态更新得越频繁，但会增加网络带宽消耗。

2. **MinNetUpdateFrequency**

```
float MinNetUpdateFrequency;
```

- **作用**：定义 **最小更新频率**，用于优化性能。
- **默认值**：**2 次/秒**
- **影响**：如果服务器检测到 Actor 没有发生变化，它可能会减少更新频率以节省带宽。

3.5 Footstep and Jump Sounds

在Unreal Engine中，**多播RPC（Multicast RPC）** 是一种网络通信机制，用于在多人游戏中**由服务器触发一个事件，并同步到所有连接的客户端**（包括服务器自身）。它是实现游戏逻辑和效果（如声音、粒子、动画）跨网络同步的核心工具之一。

3.5.1 多播RPC的核心特点

1. **触发方式**• **仅在服务器调用**：多播RPC必须由服务器（Authority）发起，客户端无法直接调用。
   • **广播执行**：服务器调用后，所有客户端（包括服务器自己）会执行绑定的函数。

2. **同步行为**• **逻辑一致性**：确保所有客户端在同一时间执行相同的操作（如播放爆炸音效）。
   • **依赖网络延迟**：客户端收到指令后立即执行，但实际执行时间受网络延迟影响。

3. **可靠性与不可靠性**
   • **Reliable（可靠）**：保证事件最终会被所有客户端接收（适用于关键操作，如角色死亡音效）。
   • **Unreliable（不可靠）**：允许事件丢失（适用于高频低优先级操作，如脚步声）。

3.5.2 多播RPC的底层原理

1. **服务器触发**• 服务器调用多播RPC函数，将事件数据打包并发送给所有客户端。

2. **网络传输**• 通过UDP协议传输（默认），若标记为Reliable，则使用可靠传输通道。

3. **客户端执行**
   • 客户端收到数据后，解析并执行绑定的函数逻辑（如播放声音）。

3.5.3 多播RPC与其他RPC的区别

RPC类型	触发端	执行端	典型场景
Server RPC	客户端 → 服务器	仅在服务器执行	玩家输入（如射击、跳跃）
Client RPC	服务器 → 客户端	仅在指定客户端执行	更新玩家UI、私聊消息
Multicast RPC	服务器 → 所有客户端	所有客户端 + 服务器执行	同步全局事件（如爆炸、天气变化）

3.5.4 在蓝图中使用多播RPC（以播放声音为例）

步骤一：定义多播RPC函数

1. 在角色或Actor蓝图中，右键添加自定义事件。

2. 在事件详情中设置 **Replicates → Multicast**，并选择可靠性（Reliable/Unreliable）。

步骤二：服务器触发多播

```
// 在角色蓝图中（示例为C++代码，蓝图逻辑类似）
void AMyCharacter::PlayExplosionSound()
{
    if (HasAuthority()) // 确保在服务器执行
    {
        Multicast_PlayExplosionSound();
    }
}

UFUNCTION(NetMulticast, Reliable)
void AMyCharacter::Multicast_PlayExplosionSound()
{
    UGameplayStatics::PlaySoundAtLocation(this, ExplosionSound,
GetActorLocation());
}
```

步骤三：客户端响应

• 所有客户端（包括服务器）会自动执行 `Multicast_PlayExplosionSound()`，播放爆炸声。

3.5.5 多播RPC的适用场景

1. **全局事件同步**• 爆炸、天气变化、Boss怒吼等需所有玩家感知的效果。
2. **角色动作同步**• 播放角色受击、死亡、技能音效。
3. **物体交互同步**
   • 门开关、宝箱开启等场景互动音效。

3.5.6 注意事项与优化

1. **权限检查**• 始终用 `if (HasAuthority())` 保护多播RPC调用，防止客户端误触发。
2. **带宽优化**• 避免高频调用（如每帧触发），优先使用客户端本地预测 + 服务器修正。
   • 对非关键音效使用 **Unreliable** 多播（如脚步声）。
3. **参数传递限制**• 多播RPC的参数需支持网络序列化（如 `FVector`、`int`、`AActor*`），避免传递复杂对象。
4. **延迟补偿**
   • 对时间敏感的操作（如射击命中音效），可在客户端先本地播放，再通过服务器验证。

3.5.7 调试多播RPC

1. **Network Profiler**• 使用 `Stat Net` 命令查看RPC调用频率和带宽占用。
2. **Log输出**• 在多播函数内添加 `UE_LOG(LogTemp, Warning, TEXT("Multicast Called!"));`，观察客户端执行情况。
3. **Replay系统**
   • 通过回放功能检查事件是否同步。

3.5.8 总结

多播RPC是Unreal Engine多人游戏开发中实现**“一次触发，全局执行”**的核心机制，尤其适用于需要所有客户端同步视觉效果或音频的场景。合理使用多播RPC，结合其他同步技术（如变量复制、客户端预测），可以在保证体验的同时优化网络性能。

4 射击武器

4.1 Projectile Weapons

4.1.1 Hit Scan VS Projectile

```cpp
// 生成抛射物Actor
AProjectile* Projectile = GetWorld()->SpawnActor<AProjectile>(ProjectileClass, MuzzleLocation, MuzzleRotation);
Projectile->SetDamage(DamageValue);
Projectile->FireInDirection(ShootDirection);
```

```cpp
// 射线检测
FHitResult HitResult;
FCollisionQueryParams Params;
Params.AddIgnoredActor(GetOwner());

if (GetWorld()->LineTraceSingleByChannel(HitResult, MuzzleLocation, TraceEnd, ECC_GameTraceChannel1, Params)) {
    AActor* HitActor = HitResult.GetActor();
    if (HitActor) {
        UGameplayStatics::ApplyDamage(HitActor, DamageValue, GetInstigatorController(), this, UDamageType::StaticClass());
    }
}
```

4.1.2 UPROPERTY

参数	作用
EditAnywhere	变量可在**蓝图**和**编辑器属性面板**中编辑
VisibleAnywhere	变量在属性面板可见但不可编辑
BlueprintReadWrite	允许**蓝图**读写该变量（需谨慎使用，可能破坏封装性）
BlueprintReadOnly	允许**蓝图**读取但不允许修改
Category	在编辑器中将变量归类到特定分组（如`Category="Combat
Replicated	变量支持**网络同步**（需在类声明中添加 replicated关键字）
SaveGame	变量可被序列化保存（用于存档系统）
Transient	变量不会被保存或加载（常用于运行时临时数据）

4.1.3 Collision

`void UPrimitiveComponent::SetCollisionObjectType(ECollisionChannel Channel);`

是用于动态修改 **Primitive Component（基本组件）** 的 **碰撞对象类型（Collision Object Type）** 的关键函数。以下是其核心用法及注意事项：

功能：设置组件的碰撞对象类型（如 `ECC_WorldStatic`、`ECC_Pawn` 等），决定其属于哪个碰撞通道（Collision Channel）。

适用对象：所有继承自 `UPrimitiveComponent` 的组件（如 `StaticMeshComponent`、`BoxComponent` 等）。

常见场景：动态改变物体的碰撞类型（如将门从阻挡改为可穿透）。根据游戏逻辑切换物体的交互规则（如武器在拾取后不再阻挡玩家）。

碰撞通道（collision channel）：在 Unreal Engine (UE) 中，碰撞通道（Collision Channel）是用于管理不同对象之间碰撞检测和响应的系统。它们允许开发者定义哪些对象可以相互碰撞、阻挡或触发重叠事件。通过合理配置碰撞通道，可以优化物理计算性能，并实现复杂的交互逻辑。

UE中的碰撞通道分为两种类型（也可以自定义碰撞通道）：

1. **Object Channels（对象通道）**
   表示对象的“身份”，用于标识特定类型的物体（如角色、子弹、环境等）。
   默认预设的Object Channels包括：WorldStatic：静态场景物体（如地形、静态网格体）。WorldDynamic：动态场景物体（如可移动的Actor、带物理的物体）。Pawn：玩家或AI控制的角色（如玩家角色、NPC）。
   PhysicsBody：具有物理模拟的物体（如刚体）。Vehicle：载具类物体。Destructible：可破坏的物体。Camera：用于相机的碰撞检测（如避免相机穿墙）。Projectile：子弹、抛射物。OverlapAll_Deprecated：已弃用的旧通道（不建议使用）。

2. **Trace Channels（追踪通道）**
   用于射线检测（Line Trace）、形状检测（Sweep）等查询操作。
   默认预设的Trace Channels包括：Visibility：用于可见性检测（如判断玩家是否被遮挡）。Camera：相机相关的射线检测（如第三人称相机的碰撞避免）。

```
void UPrimitiveComponent::SetCollisionEnabled(ECollisionEnabled::Type NewType);
```

参数：`ECollisionEnabled::Type` 枚举值，定义碰撞的启用状态。

作用：动态调整组件是否参与 射线检测（Query） 或 物理碰撞（Physics）。

枚举值	说明
NoCollision	完全禁用碰撞，既不响应射线检测，也不参与物理碰撞。
QueryOnly	仅启用射线检测（如 `LineTrace`），但忽略物理碰撞（物体可以互相穿过）。
PhysicsOnly	仅启用物理碰撞（阻挡其他物体），但忽略射线检测。
QueryAndPhysics	同时启用射线检测和物理碰撞（默认状态）。

射线检测（Raycast / Line Trace） 是一种通过模拟一条虚拟射线（直线）来检测场景中物体是否存在碰撞的技术。这种技术通常被称为 **“Query”**（查询），因为它的核心目的是通过射线“查询”场景中的物体信息，而非处理物理碰撞（如物体弹跳、受力等）。在 **Unreal Engine (UE)** 中，射线检测是实现许多关键功能的基础工具。

```
void UPrimitiveComponent::SetCollisionResponseToChannel(ECollisionChannel Channel, ECollisionResponse NewResponse);
```

```
void UPrimitiveComponent::SetCollisionResponseToAllChannels(ECollisionResponse NewResponse);
```

函数	作用范围	典型场景
`SetCollisionResponseToChannel()`	**单个通道**	精确调整特定通道的响应（如仅针对敌人）
`SetCollisionResponseToAllChannels()`	**所有通道**	批量设置所有通道的响应（如全局忽略）

枚举值	说明
ECR_Ignore	完全忽略碰撞，不触发任何事件，物体之间可互相穿透。
ECR_Overlap	触发重叠事件（如 `OnBeginOverlap`），但物体不会阻挡彼此（物理穿透）。
ECR_Block	阻挡物理移动，并触发碰撞事件（如 `OnHit`）。

4.2 Fire Montage

4.3 Fire Weapon Effects

```
\\ Weapon.h
AnimationAsset* FireAnimation;
void Fire();

\\ Weapon.cpp
void Fire() {
    PlayAnimation();
}

\\ CombatComponent.cpp
void FireButtonPressed() {
    \\
    EquippedWeapon->Fire();
    \\
}

```

4.4 Weapon Effects in Multiplayer

4.4.1 RPC

在 **Unreal Engine (UE)** 中，**RPC（Remote Procedure Call，远程过程调用）** 是实现多玩家网络同步的核心机制，允许客户端与服务器之间或客户端之间相互调用函数，触发远程逻辑的执行。以下是其核心概念、使用场景及实践指南：

4.4.1.1 1. RPC 的核心作用

- **跨机器执行逻辑**：在分布式游戏架构中，RPC 确保特定函数不仅在本机调用，还能在远程机器（服务器或其他客户端）上执行。
- **事件驱动同步**：适用于一次性动作（如开火、播放音效、触发动画），而非持续状态同步（如角色位置，通常通过属性复制实现）。

4.4.1.2 2. RPC 的三种类型

UE 支持三类 RPC，通过 `UFUNCTION` 宏的修饰符定义：

类型	修饰符	执行范围	典型场景
Server RPC	`Server`	仅在服务端执行	客户端请求服务端验证操作（如攻击）
Client RPC	`Client`	仅在指定客户端执行	服务端通知客户端播放特效
Multicast RPC	`NetMulticast`	服务端调用，所有客户端执行	广播全局事件（如游戏开始）

附加参数：

- **`Reliable`** / **`Unreliable`**：定义传输可靠性。可靠RPC确保到达，但延迟高；不可靠RPC可能丢失，但速度快（如 `UFUNCTION(Client, Unreliable)`）。
- **`WithValidation`**：为 Server RPC 添加验证函数，防止作弊（如 `UFUNCTION(Server, WithValidation)`）。

4.4.1.3 3. RPC 的工作原理

1. **调用端发起**：客户端或服务器调用一个标记为 RPC 的函数。

2. **网络传输**：UE 网络系统将函数调用序列化并通过网络发送。

3. **远程执行**：接收端解析数据并执行对应的函数逻辑。

4.4.1.4 4. 使用步骤（以 C++ 为例）

(1) 声明 RPC 函数

```
// 声明一个可靠的服务端RPC（带验证）
UFUNCTION(Server, Reliable, WithValidation)
void ServerFireProjectile(FVector Location, FRotator Rotation);

// 对应的客户端RPC（不可靠）
UFUNCTION(Client, Unreliable)
void ClientPlayMuzzleEffect();

// 组播RPC
UFUNCTION(NetMulticast, Reliable)
void MulticastExplodeFX();
```

(2) 实现函数与验证

```
// Server RPC 实现
void AMyCharacter::ServerFireProjectile_Implementation(FVector Location,
FRotator Rotation)
{
    // 服务端逻辑：生成抛射体
    if (HasEnoughAmmo()) // 示例验证
    {
        SpawnProjectile(Location, Rotation);
        MulticastExplodeFX(); // 调用组播RPC通知所有客户端
    }
}

// 验证函数（防止恶意调用）
bool AMyCharacter::ServerFireProjectile_Validate(FVector Location, FRotator
Rotation)
{
    return IsValidRotation(Rotation); // 自定义校验逻辑
}

// Client RPC 实现
void AMyCharacter::ClientPlayMuzzleEffect_Implementation()
{
    PlayMuzzleFlash(); // 客户端播放枪口特效
}

// Multicast RPC 实现
void AMyCharacter::MulticastExplodeFX_Implementation()
{
    SpawnExplosion(); // 所有客户端生成爆炸特效
}
```

(3) 调用 RPC

```
void AMyCharacter::OnFireButtonPressed()
{
    // 本地播放临时特效（无需等待RPC）
    PlayMuzzleFlash();

    // 调用服务端RPC（触发验证和服务器逻辑）
    ServerFireProjectile(GetGunLocation(), GetAimRotation());
}
```

4.4.2 CODE

```
// CombatComponent.h
protected:
    UFUNCTION(Server, Reluable)
    void SeverFire();
    UFUNCTION(Multicast, Reluable)
    void MulticastFire();

// CombatComponent.cpp
void ServerFire_Implementation() {
    MulticastFire();
}
void MulticastFire_Implementation() {
    /*
    */
}
```

4.5 The Hit Target

4.5.1 帧同步&状态同步

特性	状态同步	帧同步
同步内容	对象属性（位置、血量、动画状态）	输入和逻辑帧
带宽消耗	较高（需持续同步状态变化）	较低（仅传输输入）
实现复杂度	低（依赖UE内置机制）	高（需保证逻辑完全确定性）
适用场景	FPS、MMO、复杂物理交互的游戏	MOBA、RTS、格斗游戏
抗延迟能力	客户端预测+插值，容忍中等延迟	依赖逻辑帧缓冲，高延迟影响全体

4.5.1.1 帧同步

在Unreal Engine（UE）中，**帧同步（Lockstep Synchronization）** 是一种网络同步策略，其核心思想是**所有客户端和服务器严格按相同的逻辑帧执行游戏逻辑**，每一帧的输入、计算和状态变化完全一致，从而实现多玩家之间的确定性同步。这种机制常见于需要高度同步的实时竞技游戏（如MOBA、RTS、格斗游戏）。

帧同步的核心原理

1. **确定性逻辑**
    - 所有客户端的游戏逻辑必须在相同输入下产生**完全相同的计算结果**（包括物理模拟、随机数生成等）。
    - 需要避免非确定性因素（如浮点数精度差异、平台差异）。

2. **输入同步**
   - 每个逻辑帧开始时，所有客户端的输入（如移动指令、技能释放）被收集并广播到所有节点。
   - 只有所有节点的输入到齐后，才会执行该帧的逻辑。
3. **逻辑帧锁定**
   - 游戏按固定时间间隔（如每秒30帧）推进逻辑帧。
   - 客户端必须等待网络延迟最高的节点，确保所有节点在同一逻辑帧的输入和状态一致。

UE中实现帧同步的挑战

UE默认的同步机制是基于**状态同步**（同步对象属性变化），而帧同步需要开发者自行实现核心逻辑。以下是关键实现步骤：

1. **确定性逻辑保障**

- 固定随机种子：所有客户端使用相同的随机数种子，确保随机事件（如暴击、掉落）一致。

```
FMath::RandInit(GlobalSeed); // 全局同步种子
```

- **浮点数一致性**：避免不同平台或编译器的浮点计算差异，可改用定点数或限制浮点运算精度。
- **禁用非确定性组件**：如UE的物理引擎（Chaos）默认是非确定性的，需替换为确定性物理库或自定义实现。

2. **输入同步与帧推进**

- 输入收集与广播：使用可靠RPC或自定义协议同步每帧的玩家输入。

```
// 客户端发送输入到服务器
void SendPlayerInput(int32 Frame, FInputData Input) {
    Server_ReportInput(Frame, Input);
}

// 服务器广播确认的输入到所有客户端
void Server_ReportInput_Implementation(int32 Frame, FInputData Input) {
    BroadcastInputToClients(Frame, Input);
}
```

- **逻辑帧缓冲**：为抵消网络延迟，客户端需缓存未来若干帧的输入（例如缓冲3-5帧）。

3. **逻辑帧驱动**

- 按固定间隔推进帧：使用

```
FTimer
```

  或自定义Tick机制驱动逻辑帧。

```
// 每33ms推进一帧（30 FPS）
GetWorld()->GetTimerManager().SetTimer(FrameTimer, this,
&AMyGameMode::AdvanceFrame, 0.033f, true);
```

- **等待输入就绪**：如果某帧的输入未全部到达，暂停逻辑帧直到数据齐全。

4. **回滚与预测（可选）**

- 为减少延迟感知，客户端可预测未来帧的结果，并在输入确认后回滚修正（类似《英雄联盟》的“rollback netcode”）。

4.5.1.2 状态同步

在Unreal Engine（UE）中，**状态同步（State Synchronization）** 是引擎默认的网络同步机制，其核心思想是**由服务器作为权威来源，将游戏对象的关键状态（如位置、血量、动画状态等）实时同步给所有客户端**，确保所有玩家看到的游戏世界保持一致。状态同步广泛用于FPS、MMO、开放世界等需要处理复杂交互和实时状态更新的游戏类型。

状态同步的核心原理

1. 服务器权威（Server Authority）

- 服务器是游戏逻辑的“唯一真相源”，所有关键逻辑（如伤害计算、物品拾取）均在服务器执行。
- 客户端仅负责输入采集和状态呈现，无法直接修改游戏核心状态。

2. 属性复制（Replication）

- 同步对象状态：通过标记

```
UPROPERTY(Replicated)
```

，服务器将变量的更新自动广播给客户端。

```
// 服务器端修改血量后，客户端自动同步
UPROPERTY(Replicated)
float Health;
```

- 复制条件控制：可设置同步频率、可见性等规则。

```
// 仅同步给当前玩家控制的客户端
UPROPERTY(ReplicatedUsing = OnRep_Health, EditAnywhere, Category =
"Attributes", meta = (AllowPrivateAccess = "true"))
float Health;
```

3. 远程过程调用（RPC）

- 补充状态同步：用于触发瞬时事件（如技能释放、爆炸特效）。

```
// 客户端调用Server RPC请求开火（服务器验证后执行）
UFUNCTION(Server, Reliable)
void Server_Fire();
```

4. 角色权限（Role）

- `ROLE_Authority`：服务器端对象，拥有最终决策权。
- `ROLE_SimulatedProxy`：客户端对象，仅接收同步状态（如其他玩家的角色）。
- `ROLE_AutonomousProxy`：本地玩家控制的角色，允许客户端预测（如移动）。

状态同步的工作流程（以玩家移动为例）

1. **客户端输入**：玩家按下移动键，本地角色立即响应（客户端预测）。
2. Server RPC调用：客户端通过RPC将输入发送到服务器。

```
void APlayerCharacter::MoveForward(float Value) {
    if (GetLocalRole() < ROLE_Authority) {
        Server_MoveForward(Value);
    }
    // 客户端预测移动
    AddMovementInput(FVector::ForwardVector, Value);
}

UFUNCTION(Server, Reliable, WithValidation)
void Server_MoveForward(float Value);
```

3. **服务器验证**：服务器计算合法移动，更新角色位置。
4. **属性复制**：服务器将新位置同步给所有客户端。
5. **客户端修正**：若客户端预测位置与服务器结果不一致，平滑插值调整。

4.5.2 CODE

```
// CombatComponent.h\
#define TRACE_LENGTH 80000.f

protected:
    void TraceUnderCrosshairs(FHitResult& TraceHitResult);

// CombatComponent.cpp
void TraceUnderCrosshairs(FHitResult& TraceHitResult) {
    FVecoter2D ViewprotSize;
    if () {
        GEngine->GameViewprot->GetViewportSize(ViewprotSize);
    }
    FVecoter2D CrosshairLocation(ViewprotSize / 2.f, ViewprotSize / 2.f);
    FVecoter CrosshairWorldPosition;
    FVecoter CrosshairWorldDirection;
    bool bScreenToWorld = UGameplayStatics::DeprojectScreenToWorld(
        UGameplayStatics::GetPlayerController(this, 0),
        CrosshairLocation,
        CrosshairWorldPosition,
        CrosshairWorldDirection;

    );
    if (bScreenToWorld) {
        FVector Start = CrosshairWorldPosition;

        FVector End = Start + CrosshairWorldDirection * TRACE_LENGTH;
        GetWorld()->LineTraceSingleByChannel(
            TraceHitResult,
            Start,
            End,
```

```
            ECollisionChannel::ECC_Visibility;
        );
        if (!TraceHitResult.bBlockingHit) {
            TraceHitResult.ImpactPoint = End;
        } else {

            DrawDebugSphere(/* */);
        }
    }
}

void TickCoomponent(/* */) {
    /* */
    FHitResult HitResult;
    TraceUnderCrosshairs(HitResult);
}

```

```
bool UGameplayStatics::DeprojectScreenToWorld(
    const APlayerController* PlayerController, // 玩家控制器
    const FVector2D& ScreenPosition,           // 屏幕坐标（单位：像素）
    FVector& WorldLocation,                     // 输出世界空间起点
    FVector& WorldDirection                     // 输出射线方向（归一化）
);
```

`DeprojectScreenToWorld()`是一个用于将屏幕空间坐标（如鼠标点击位置或 UI 元素坐标）转换为世界空间中的位置和方向的函数。它常用于将 2D 屏幕操作映射到 3D 游戏世界，例如点击地面移动角色、计算子弹发射方向或放置物体。

```
bool UWorld::LineTraceSingleByChannel(
    FHitResult& OutHit,                // 命中结果（输出）
    const FVector& Start,              // 射线起点（世界坐标）
    const FVector& End,                // 射线终点（世界坐标）
    ECollisionChannel TraceChannel,    // 碰撞通道（如 ECC_Visibility, ECC_GameTraceChannel1）
    const FCollisionQueryParams& Params = FCollisionQueryParams::DefaultQueryParam, // 检测参数
    const FCollisionResponseParams& ResponseParams = FCollisionResponseParams::DefaultResponseParam // 响应参数
);
```

`LineTraceSingleByChannel()`是一个用于执行射线检测（Raycast）的核心函数。它从指定起点向终点发射一条射线，检测与场景中物体的碰撞，并返回第一个命中的结果（通过碰撞通道过滤）。该函数广泛应用于武器射击、视线检测、物体交互等场景。

```
void DrawDebugSphere(
    const UWorld* InWorld,           // 当前世界上下文（通常用 GetWorld() 获取）
    FVector const& Center,          // 球心位置（世界坐标）
    float Radius,                    // 球体半径
    int32 Segments,                  // 球体分段数（越高越平滑）
    FColor const& Color,             // 线框颜色（如 FColor::Red）
    bool bPersistentLines = false,   // 是否持续显示（否则每帧刷新）
    float LifeTime = -1.f,           // 显示时间（秒），-1 表示仅一帧
    uint8 DepthPriority = 0,         // 绘制深度优先级（0 为默认）
    float Thickness = 0.f            // 线框粗细
);
```

`DrawDebugSphere()` 是一个用于在调试模式下绘制球形线框的辅助函数。它可以帮助开发者可视化游戏逻辑中的球形区域（如碰撞范围、技能半径、检测区域等），是调试和原型设计的常用工具。

4.6 Spawn the Projectile

```
// ProjectileWeapon.h
public:
    virtual void Fire(const FVector& HitTarget) override;


private:
    UPROPERTY(EditAnywhere)
    TSubclassOf<class AProjectile> ProjectileClass;

// ProjectileWeapon.cpp
void Fire(const FVector& HitTarget) {
    Super::Fire(HitTarget);
    // 在武器的枪口处，有一个socket
    Const USkeletalMeshSocket* MuzzleFlashSocket = GetWeaponMesh()->GetSocketByName(FName("MuzzleFlash"));
    if (MuzzleFlashSocket) {
        FTransform SocketTransform = MuzzleFlashSocket->GetSocketTransform(GetWeaponMesh());
        FVector ToTarget = HitTarhet - SocketTransform.GetLocation();
        if (ProjectileClass) {
            UWorld* World = GetWorld();
            if (World) {
                World->SpawnActor<AProjectile>(
                    ProjectilClass,
                    SocketTransform.GetLocation(),
                    ToTarget.Rotation(),
                    SpawnParams
                )
            }
        }
    }
}

// Component.h
    FVector HitTarget;
```

```

// Component.cpp
void TraceUnderCrosshairs(FHitResult& TraceHitResult) {
    /*  */
            if (!TraceHitResult.bBlockingHit) {
            TraceHitResult.ImpactPoint = End;
        } else {
            HitTarget = TraceHitResult.ImpactPoint;
            DrawDebugSphere(/* */);
        }
}

```

```
FTransform USkeletalMeshComponent::GetSocketTransform(
    FName InSocketName,
    ERelativeTransformSpace TransformSpace = RTS_World
) const
```

`GetSocketTransform()` 是一个用于获取骨骼网格体（Skeletal Mesh）中指定插槽（Socket）的变换（Transform）的重要函数。

- 参数：
  - `InSocketName`：要查询的插槽名称（区分大小写）。
  - `TransformSpace`：变换空间（默认为世界空间 `RTS_World`）。
- **返回值**：插槽的变换信息（`FTransform`，包含位置、旋转、缩放）。

```
// 最常用的重载版本
template <typename T>
T* UWorld::SpawnActor(
    UClass* Class,                                  // 要生成的Actor类
    const FTransform* Transform = nullptr,     // 初始变换（位置、旋转、缩放）
    const FActorSpawnParameters& SpawnParameters = FActorSpawnParameters() // 生成参数
) const;
```

`SpawnActor()` ** 是用于在运行时动态生成（生成）`AActor` 派生类实例的核心函数。它广泛应用于生成角色、道具、特效、投射物等游戏对象。

4.7 Projectile Trace

```
\\ Projectile.h
class UParticleSystem* Tracer;

class UParticleSystemComponent TracerComponent;

\\ Projectile.cpp
void BeginPlay() P{
    if (Tracer) {
        UGameplayStatice::
    }
}
```

4.8 Projectile Hit Events

```
virtual void OnHit(
    UPrimitiveComponent* HitComp,
    AActor* OtherActor,
    UPrimitiveComponent* OtherComp,
    FVector NormalImpulse,
    const FHitResult& Hit
);
```

1. **`HitComp`**
   - 类型：`UPrimitiveComponent*`
   - 作用：指向 **发起碰撞的原始组件**（如球体碰撞体、静态网格体组件等）。此组件属于当前 `Actor`。
2. **`OtherActor`**
   - 类型：`AActor*`
   - 作用：指向 **被碰撞的另一个 `Actor`**。例如，子弹击中玩家时，`OtherActor` 就是玩家角色。
3. **`OtherComp`**
   - 类型：`UPrimitiveComponent*`
   - 作用：指向 **被碰撞 `Actor` 的具体组件**（如角色的头部碰撞盒）。如果 `OtherActor` 未指定组件，可能为 `nullptr`。
4. **`NormalImpulse`**
   - 类型：`FVector`
   - 作用：表示 **碰撞的冲量方向与大小**（基于法线方向）。仅在启用了物理模拟（`Simulate Physics`）时非零。
5. **`Hit`**
   - 类型：`const FHitResult&`
   - 作用：包含 **碰撞的详细信息**，如碰撞点（`ImpactPoint`）、表面法线（`Normal`）、是否阻挡（`bBlockingHit`）等。

5 健康情况以及玩家统计

5.1 Game Framework

5.2 Health

6 弹药

7 匹配状态

7.1 On MatchState Set

在监听服务器架构（常见于FPS、合作PVE等游戏）中，这些组件的结构关系如下：

1. **监听服务器 (Listen Server)**：这是整个架构的核心中枢进程。它运行着完整的游戏世界模拟逻辑（物理、规则、状态）和权威数据副本。最重要的是，**它既是服务器，也是一个特殊的游戏客户端**。它拥有一个**本地玩家**直接操作游戏。它负责监听网络连接，接收并处理所有客户端发来的输入。所有关键决策（如命中判定、得分、物品刷新）都在这里权威地进行。

2. **本地玩家 (Local Player - on Listen Server)**：这是指**在运行监听服务器程序的同一台物理机器上登录并操控游戏**的玩家。该玩家的输入指令（键盘、鼠标、手柄）不是通过网络发送，而是直接注入到监听服务器进程内运行的游戏逻辑中。他是唯一一个拥有“零延迟”本地操作的玩家，因为在服务器看来，他和服务器逻辑在同一进程内。

3. **远程客户端 (Remote Clients)**：指除运行监听服务器的机器外，通过网络连接到该服务器上的玩家所使用的游戏程序。这些客户端主要负责：1) 捕获本地玩家的输入并发送给服务器；2) 接收服务器权威更新后的游戏世界状态（其他玩家的位置、自身状态、环境变化等）；3) 渲染画面和播放音效给本地玩家。它们**不运行权威的游戏逻辑**，只显示服务器同步过来的结果。

4. **监听服务器代理客户端 (Listen Server's Proxy Clients / Simulated Remote Clients)**：当监听服务器需要处理多个玩家时，它内部为每个连接到它的**远程客户端**创建一个**对应的模拟对象**。这些对象代表远程客户端在服务器逻辑中的存在。它们的作用是：1) **接收**来自远程客户端的输入数据包；2) **应用**这些输入到服务器模拟的该玩家实体上（根据服务器视角的位置、速度等进行处理）；3) 帮助构建**发送**给对应远程客户端的状态更新（通过插值、预测校正等优化）。它们是服务器内部的数据结构/对象，是远程物理客户端在服务器世界的**虚拟化身**。

7.2 Spawn Rocket Trail

UAudioComponent：在虚幻引擎（Unreal Engine）中，`UAudioComponent` 是继承自 `UActorComponent` 的核心组件，用于在场景中播放音频（如音效、背景音乐）。它通过逻辑与音频资源（`USoundBase`）关联，支持实时控制音频参数、3D 空间化、衰减等特性。

函数	说明
`void Play(float StartTime = 0.f)`	开始播放音频（StartTime 指定起始时间）。
`void Stop()`	立即停止播放。
`void SetSound(USoundBase\* NewSound)`	设置要播放的声音资源（USoundBase 对象）。
`void SetVolumeMultiplier(float Volume)`	调整音量乘数（范围通常为 0.0 到 1.0）。
`void SetPitchMultiplier(float Pitch)`	调整音调乘数（1.0 为原速，大于1加速）。
`void SetBoolParameter(FName Name, bool Value)`	设置声音蓝图中的布尔参数（用于动态控制）。
`void SetIntParameter(FName Name, int32 Value)`	设置整数参数（如切换音效类型）。
`void FadeIn(float FadeDuration, float FadeVolume, float StartTime, EAudioFaderCurve Curve)`	淡入效果启动音频。
`void FadeOut(float FadeDuration, float FadeVolume, EAudioFaderCurve Curve)`	淡出效果停止音频。
`bool IsPlaying() const`	检查音频是否正在播放。

```
ProjectileLoopComponent = UGameplayStatics::SpawnSoundAttached(
        ProjectileLoop,                         // 音效资源
        GetRootComponent(),                     // 附加到根组件
        TEXT("None"),                           // 明确指定无附加点
        FVector::ZeroVector,                    // 位置归零（使用组件原点）
        EAttachLocation::KeepRelativeOffset,// 保持相对偏移
        true,    // bStopWhenAttachedToDestroyed: 组件销毁时自动停止
        1.0f,    // VolumeMultiplier
        1.0f,    // PitchMultiplier
        0.0f,    // StartTime
        LoopingSoundAttenuation,                // 衰减设置
        nullptr, // 无并发控制
        true     // bAutoDestroy: 播放完后自动销毁
    );
```

7.3 Rocket Projectile Movement Component

ProjectileMovementComponent.h, EHandleBlockingHitResult, virtual EHandleBlockingHitResult HandleBlockingHit()

7.4 Hit Scan Weapons

```
void AHitScanWeapon::Fire(const FVector& HitTarget)
{
    Super::Fire(HitTarget);

    APawn* OwnerPawn = Cast<APawn>(GetOwner());
    if (OwnerPawn == nullptr) return;
    AController* InstigatorController = OwnerPawn->GetController();

```

```
    const USkeletalMeshSocket* MuzzleFlashSocket = GetWeaponMesh()->GetSocketByName("MuzzleFlash");
    if (MuzzleFlashSocket && InstigatorController)
    {
        FTransform SocketTransform = MuzzleFlashSocket->GetSocketTransform(GetWeaponMesh());
        FVector Start = SocketTransform.GetLocation();
        FVector End = Start + (HitTarget - Start) * 1.25f;

        FHitResult FireHit;
        UWorld* World = GetWorld();
        if (World)
        {
            World->LineTraceSingleByChannel(
                FireHit,
                Start,
                End,
                ECollisionChannel::ECC_Visibility
            );
            if (FireHit.bBlockingHit)
            {
                ABlasterCharacter* BlasterCharacter = Cast<ABlasterCharacter>(FireHit.GetActor());
                if (BlasterCharacter && HasAuthority())
                {
                    UGameplayStatics::ApplyDamage(
                        BlasterCharacter,
                        Damage,
                        InstigatorController,
                        this,
                        UDamageType::StaticClass()
                    );
                }
                if (ImpactParticles)
                {
                    UGameplayStatics::SpawnEmitterAtLocation(
                        World,
                        ImpactParticles,
                        End,
                        FireHit.ImpactNormal.Rotation()
                    );

                }
            }
        }
    }
}
```

```
bool UWorld::LineTraceSingleByChannel(
    FHitResult& OutHit,
    const FVector& Start,
    const FVector& End,
```

```
    ECollisionChannel TraceChannel,
    const FCollisionQueryParams& Params = FCollisionQueryParams(),
    const FCollisionResponseParams& ResponseParam = FCollisionResponseParams()
) const;

World->LineTraceSingleByChannel(
    FireHit,              // 碰撞结果存储
    Start,                // 射线起点（枪口位置）
    End,                  // 射线终点（延长1.25倍）
    ECollisionChannel::ECC_Visibility  // 碰撞通道
);
```

参数	类型	作用
`OutHit`	FHitResult&	**碰撞结果容器** (输出参数)
`Start`	const FVector&	射线**起点** (枪口位置)
`End`	const FVector&	射线**终点** (计算出的延长点)
`TraceChannel`	ECollisionChannel	**碰撞通道** (`ECC_Visibility`)
`Params`	FCollisionQueryParams	可选的查询参数
`ResponseParam`	FCollisionResponseParams	可选的响应参数

`ECC_Visibility`：UE的预设碰撞通道，常用语武器瞄准/LOS检测。默认的相应对象为：静态网络、谷歌网络、地形等可见实体。

```
UGameplayStatics::SpawnEmitterAtLocation(
    World,                    // 当前游戏世界上下文
    ImpactParticles,          // 要生成的粒子系统
    End,                      // 特效生成位置
    FireHit.ImpactNormal.Rotation() // 特效的旋转方向
);
```

World	`UWorld*`	**当前游戏世界上下文，提供时间管理和关卡环境**
ImpactParticles	`UParticleSystem*`	预先创建好的粒子系统资产，如弹痕、血迹或火花特效
End	`FVector`	特效生成的世界空间坐标
FireHit.ImpactNormal.Rotation()	`FRotator`	基于撞击表面法线的旋转，使粒子垂直于碰撞表面

7.5 Fire的整个流程

基于您的代码库，我来详细解释 `AHitScanWeapon::Fire` 的完整调用流程：

7.5.1 Fire 调用流程图

```
玩家按下开火键
    ↓
BlasterCharacter::FireButtonPressed()
    ↓
CombatComponent::FireButtonPressed(true)
    ↓
CombatComponent::Fire()
    ↓
CombatComponent::ServerFire()
    ↓
CombatComponent::MulticastFire()
    ↓
AHitScanWeapon::Fire(const FVector& HitTarget)
```

7.5.2 详细调用流程

7.5.2.1 1. 输入处理阶段

在 `BlasterCharacter.cpp:519` 中：

```cpp
void ABlasterCharacter::FireButtonPressed()
{
    if (bDisableGameplay) return;  // 关键判断：游戏玩法是否被禁用
    if (Combat)
    {
        Combat->FireButtonPressed(true);
    }
}
```

关键判断：

- `bDisableGameplay`：检查角色是否处于可操作状态（如未死亡、未被淘汰等）

7.5.2.2 2. 战斗组件处理阶段

在 `CombatComponent.cpp:74` 中：

```cpp
void UCombatComponent::FireButtonPressed(bool bPressed)
{
    bFirebuttonPressed = bPressed;
    if (bFirebuttonPressed && EquippedWeapon != nullptr)
    {
        Fire();
    }
}
```

关键判断：

- `EquippedWeapon != nullptr`：确保角色装备了武器

7.5.2.3 3. 开火逻辑判断

在 `CombatComponent.cpp:80` 中：

```cpp
void UCombatComponent::Fire()
```

```
{
    if (CanFire())  // 核心判断函数
    {
        bCanFire = false;

        FHitResult HitResult;
        TraceUnderCrosshairs(HitResult);  // 准星射线检测
        ServerFire(HitResult.ImpactPoint);

        if (EquippedWeapon)
        {
            CrosshairShootingFactor = 1.f;  // 更新准星扩散
        }
        StartFireTimer();  // 启动射击间隔计时器
    }
}
```

关键函数 `CanFire()` 在 `CombatComponent.cpp:472`：

```
bool UCombatComponent::CanFire()
{
    if (EquippedWeapon == nullptr) return false;
    return !EquippedWeapon->IsEmpty() && bCanFire && (CombatState == ECombatState::ECS_Unoccupied);
}
```

关键判断：

- `!EquippedWeapon->IsEmpty()`：武器有弹药
- `bCanFire`：射击冷却完成
- `CombatState == ECombatState::ECS_Unoccupied`：角色未处于重装弹等占用状态

7.5.2.4 4. 网络同步阶段

```
void UCombatComponent::ServerFire_Implementation(const FVector_NetQuantize& TraceHitTarget)
{
    MulticastFire(TraceHitTarget);  // 服务器验证后广播给所有客户端
}

void UCombatComponent::MulticastFire_Implementation(const FVector_NetQuantize& TraceHitTarget)
{
    if (EquippedWeapon == nullptr) return;
    if (Character && (CombatState == ECombatState::ECS_Unoccupied))
    {
        Character->PlayFireMontage(bAiming);  // 播放开火动画
        EquippedWeapon->Fire(TraceHitTarget); // 调用武器的Fire方法
    }
}
```

7.5.2.5 5. 武器基类处理

在 `Weapon.cpp:65` 中：

```
void AWeapon::Fire(const FVector& HitTarget)
{
    if (FireAnimation)
    {
        WeaponMesh->PlayAnimation(FireAnimation, false);  // 播放武器开火动画
    }
    if (CasingClass)
    {
        // 生成弹壳
        const USkeletalMeshSocket* AmmoEjectSocket = WeaponMesh->GetSocketByName(FName("AmmoEject"));
        if (AmmoEjectSocket)
        {
            FTransform SocketTransform = AmmoEjectSocket->GetSocketTransform(WeaponMesh);
            UWorld* World = GetWorld();
            if (World)
            {
                World->SpawnActor<ACasing>(
                    CasingClass,
                    SocketTransform.GetLocation(),
                    SocketTransform.GetRotation().Rotator()
                );
            }
        }
    }
    SpendRound();  // 消耗弹药
}
```

7.5.2.6 6. HitScan武器特定逻辑

最终到达 `HitScanWeapon::Fire`：

```
void AHitScanWeapon::Fire(const FVector& HitTarget)
{
    Super::Fire(HitTarget);  // 调用基类方法

    APawn* OwnerPawn = Cast<APawn>(GetOwner());
    if (OwnerPawn == nullptr) return;
    AController* InstigatorController = OwnerPawn->GetController();

    const USkeletalMeshSocket* MuzzleFlashSocket = GetWeaponMesh()->GetSocketByName("MuzzleFlash");
    if (MuzzleFlashSocket && InstigatorController)
    {
        FTransform SocketTransform = MuzzleFlashSocket->GetSocketTransform(GetWeaponMesh());
        FVector Start = SocketTransform.GetLocation();  // 从枪口开始
        FVector End = Start + (HitTarget - Start) * 1.25f;  // 延长射线距离

        FHitResult FireHit;
```

```
        UWorld* World = GetWorld();
        if (World)
        {
            // 射线检测
            World->LineTraceSingleByChannel(
                FireHit,
                Start,
                End,
                ECollisionChannel::ECC_Visibility
            );
            if (FireHit.bBlockingHit)
            {
                // 伤害处理
                ABlasterCharacter* BlasterCharacter = Cast<ABlasterCharacter>(FireHit.GetActor());
                if (BlasterCharacter && HasAuthority())
                {
                    UGameplayStatics::ApplyDamage(
                        BlasterCharacter,
                        Damage,
                        InstigatorController,
                        this,
                        UDamageType::StaticClass()
                    );
                }
                // 击中特效
                if (ImpactParticles)
                {
                    UGameplayStatics::SpawnEmitterAtLocation(
                        World,
                        ImpactParticles,
                        FireHit.ImpactPoint,
                        FireHit.ImpactNormal.Rotation()
                    );
                }
            }
        }
    }
}
```

7.5.3 void TraceUnderCrosshairs(FHitResult& TraceHitResult);

主要功能：将屏幕中心的准星位置转换为3D世界空间的射线检测，确定玩家瞄准的目标点。

```
void UCombatComponent::TraceUnderCrosshairs(FHitResult& TraceHitResult)
{
    // ==================== 第一步：获取屏幕视口大小 ====================
    FVector2D ViewportSize;
    if (GEngine && GEngine->GameViewport)
    {
        // 获取当前游戏窗口的像素尺寸（宽度和高度）
        GEngine->GameViewport->GetViewportSize(ViewportSize);
    }
```

```
10
11      // ==================== 第二步：计算准星在屏幕中的位置 ====================
12      // 准星位置固定在屏幕正中央
13      FVector2D CrosshairLocation(ViewportSize.X / 2.f, ViewportSize.Y / 2.f);
14
15      // ==================== 第三步：屏幕坐标转换为世界坐标 ====================
16      FVector CrosshairWorldPosition;     // 射线在世界空间中的起始位置
17      FVector CrosshairWorldDirection;    // 射线在世界空间中的方向向量
18
19      // 将2D屏幕坐标转换为3D世界空间的射线
20      // 这是从摄像机视角投射出的射线
21      bool bScreenToWorld = UGameplayStatics::DeprojectScreenToWorld(
22          UGameplayStatics::GetPlayerController(this, 0),   // 获取玩家控制器
23          CrosshairLocation,                                  // 屏幕中心点（准星位置）
24          CrosshairWorldPosition,                            // 输出：世界空间起始点
25          CrosshairWorldDirection                            // 输出：射线方向
26      );
27
28      // ==================== 第四步：执行射线检测 ====================
29      if (bScreenToWorld)  // 确保坐标转换成功
30      {
31          // 射线起始点：从摄像机位置开始
32          FVector Start = CrosshairWorldPosition;
33
34          // ==================== 关键优化：避免击中自己 ====================
35          if (Character)
36          {
37              // 计算摄像机到角色的距离
38              float DistanceToCharacter = (Character->GetActorLocation() -
Start).Size();
39
40              // 将射线起始点前移到角色前方100单位处
41              // 这样可以避免射线从摄像机开始时意外击中角色自身
42              Start += CrosshairWorldDirection * (DistanceToCharacter + 100.f);
43          }
44
45          // 计算射线终点：从起始点沿方向延伸 TRACE_LENGTH 距离
46          FVector End = Start + CrosshairWorldDirection * TRACE_LENGTH;
47
48          // ==================== 执行线性射线检测 ====================
49          GetWorld()->LineTraceSingleByChannel(
50              TraceHitResult,                     // 输出：碰撞检测结果
51              Start,                              // 射线起始点
52              End,                                // 射线终点
53              ECollisionChannel::ECC_Visibility // 使用可见性碰撞通道
54          );
55
56          // ==================== 第五步：处理检测结果 ====================
57
58          // 如果射线没有击中任何物体
59          if (!TraceHitResult.bBlockingHit)
60          {
```

```
            // 将射线的终点作为击中点
            // 这确保了即使没有击中任何物体，我们也有一个有效的目标位置
            TraceHitResult.ImpactPoint = End;
            HitTarget = End;  // 更新成员变量，供其他系统使用
        }

        // ==================== 第六步：更新准星视觉反馈 ====================

        // 检查击中的物体是否实现了准星交互接口
        if (TraceHitResult.GetActor() &&
            TraceHitResult.GetActor()->Implements<UInteractWithCrosshairInterface>())
        {
            // 如果击中可交互对象（通常是敌人），准星变红
            HUDPackage.CrosshairsColor = FLinearColor::Red;
        }
        else
        {
            // 击中普通物体或没有击中，准星保持白色
            HUDPackage.CrosshairsColor = FLinearColor::White;
        }
    }
}
```

7.6 Beam Particles

```
/** Spawns an emitter at the specified location */
UFUNCTION(BlueprintCallable, Category = "Gameplay|Effects",
          meta = (WorldContext = "WorldContextObject",
                  AutoCreateRefTerm = "Rotation",
                  AdvancedDisplay = "bAutoDestroy, PoolingMethod"))
static UParticleSystemComponent* SpawnEmitterAtLocation(
    const UObject* WorldContextObject,        // 世界上下文
    UParticleSystem* EmitterTemplate,         // 粒子系统模板
    FVector Location,                         // 世界空间位置
    FRotator Rotation = FRotator::ZeroRotator,// 旋转角度
    FVector Scale = FVector(1.f),             // 缩放比例
    bool bAutoDestroy = true,                 // 是否自动销毁
    EPSCPoolMethod PoolingMethod = EPSCPoolMethod::None // 池化方法
);
```

7.7 ShotGun Reload

7.7.1 Reload流程

7.7.1.1 `void UCombatComponent::Reload()`：重装入口

```cpp
void UCombatComponent::Reload()
{
    if (CarriedAmmo > 0 && CombatState != ECombatState::ECS_Reloading)
    {
        ServerReload();
    }
}
```

Reload是从 `ABlasterCharacter::ReloadButtomPressed()` 跳转来的。

7.7.1.2 `voidUCombatComponent::ServerReload_Implementation()`：服务器端重装

```cpp
void UCombatComponent::ServerReload_Implementation()
{
    if (Character == nullptr || EquippedWeapon == nullptr) return;

    CombatState = ECombatState::ECS_Reloading;
    HandleReload();
}
```

通过调用一个Server RPC让Server来处理Reload相关的事务，经过必要的检查，将 `CombatState` 设置为 `ECombatState::ECS_Reloading`。

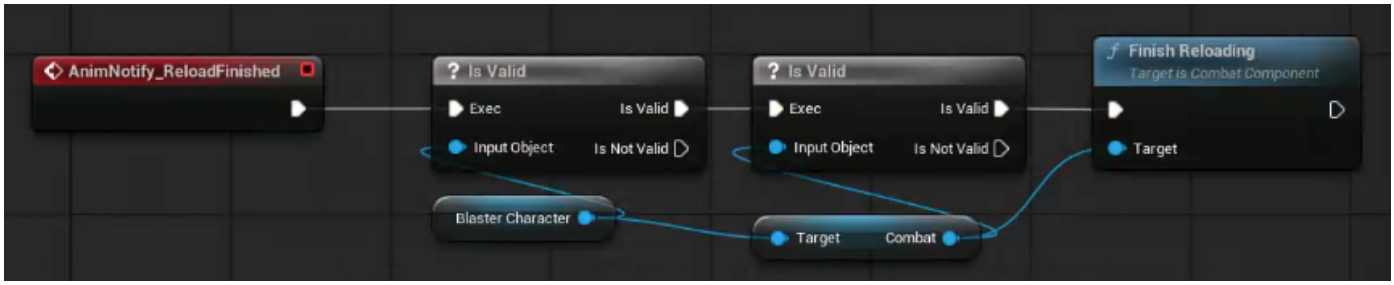
7.7.1.3 `voidUCombatComponent::HandleReload()`：重装处理

```cpp
void UCombatComponent::HandleReload()
{
    Character->PlayReloadMontage();
}
```

调用 `Character->PlayerReloadMontage()`

```cpp
void ABlasterCharacter::PlayReloadMontage()
{
    if (Combat == nullptr || Combat->EquippedWeapon == nullptr) return;

    UAnimInstance* AnimInstance = GetMesh()->GetAnimInstance();
    if (AnimInstance && ReloadMontage)
    {
        AnimInstance->Montage_Play(ReloadMontage);
        FName SectionName;
        switch (Combat->EquippedWeapon->GetWeaponType())
        {
        ...
        }
        AnimInstance->Montage_JumpToSection(SectionName);
    }
}
```

7.7.1.4 蓝图逻辑



在Montage完成对应Section的播放后，会触发ReloadFinished通知，进而使用上面的逻辑调用`voidUCombatComponent::FinishReloading()`

7.7.1.5 `voidUCombatComponent::FinishReloading()`：完成重装

```
1  void UCombatComponent::FinishReloading()
2  {
3      if (Character == nullptr) return;
4      if (Character->HasAuthority())
5      {
6          CombatState = ECombatState::ECS_Unoccupied;
7          UpdateAmmoValues();
8      }
9      if (bFirebuttonPressed)
10     {
11         Fire();
12     }
13 }
```

将`CombatState`修改为`ECombatState::ECS_Unoccupied`。同时调用`voidUCombatComponent::UpdateAmmoValues()`，由此进入更新Ammo的流程。

7.7.2 弹药更新

7.7.2.1 `voidUCombatComponent::UpdateAmmoValues()`：普通弹药更新

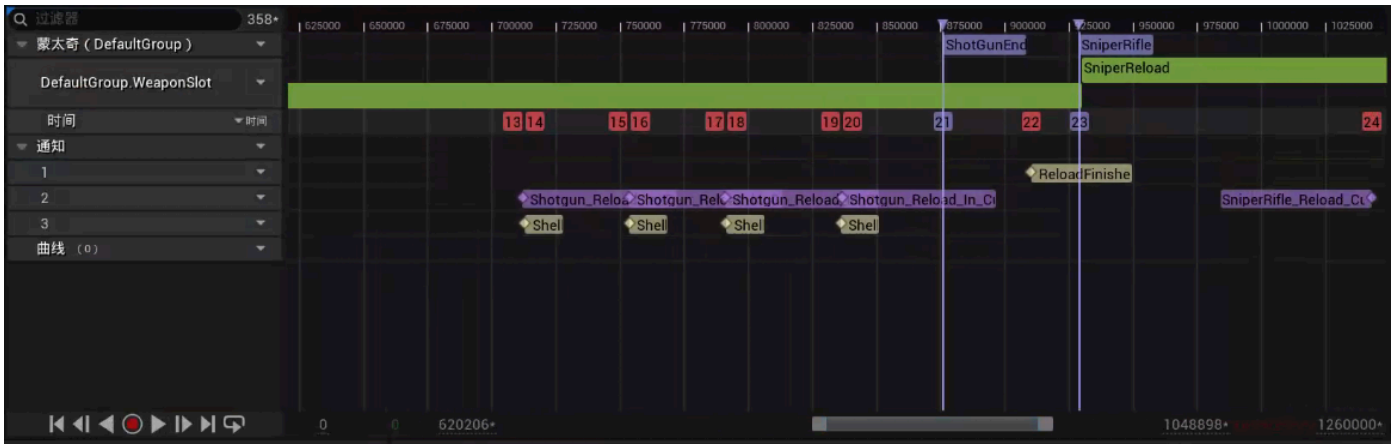
```
1  void UCombatComponent::UpdateAmmoValues()
2  {
3      if (Character == nullptr || EquippedWeapon == nullptr) return;
4
5      int32 ReloadAmount = AmountToReload();
6      if (CarriedAmmoMap.Contains(EquippedWeapon->GetWeaponType()))
7      {
8          CarriedAmmoMap[EquippedWeapon->GetWeaponType()] -= ReloadAmount;
9          CarriedAmmo = CarriedAmmoMap[EquippedWeapon->GetWeaponType()];
10     }
11     Controller = Controller == nullptr ? Cast<ABlasterPlayerController>
   (Character->Controller) : Controller;
12     if (Controller)
13     {
14         Controller->SetHUDCarriedAmmo(CarriedAmmo);
15     }
16     EquippedWeapon->AddAmmo(-ReloadAmount);
17 }
```

计算重装的数量，从备用弹药中扣除重装的数量，更新HUD显示的备用弹药，给武器添加弹药。

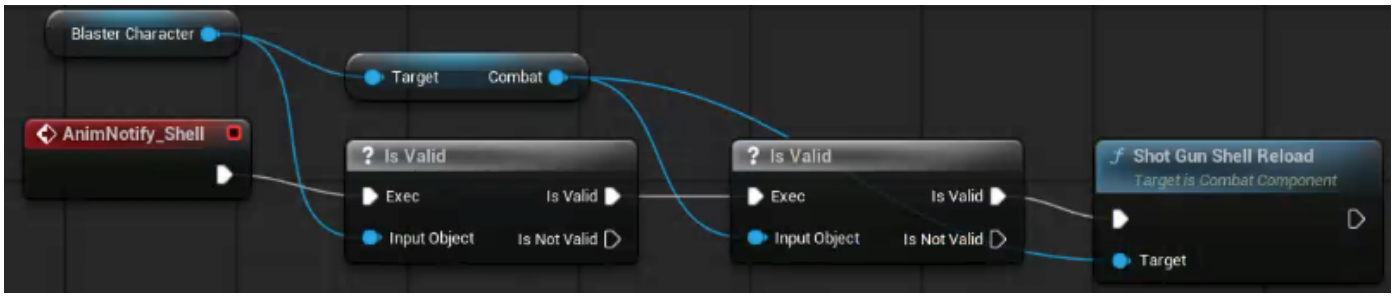
```
int32 UCombatComponent::AmountToReload()
{
    if (EquippedWeapon == nullptr) return 0;
    int32 RoomInMag = EquippedWeapon->GetMagCapacity() - EquippedWeapon->GetAmmo();

    if (CarriedAmmoMap.Contains(EquippedWeapon->GetWeaponType()))
    {
        int32 AmountCarried = CarriedAmmoMap[EquippedWeapon->GetWeaponType()];
        int Least = FMath::Min(RoomInMag, AmountCarried);
        return FMath::Clamp(RoomInMag, 0, Least);
    }
    return 0;
}
```

7.7.2.2 ShotGun弹药更新

首先，在ShotGun的ReloadMontageSection中，存在名为Shell的通知，如下：



每当播放到Shell通知时，动画蓝图会执行如下逻辑：



随后会执行 `voidUCombatComponent::ShotGunShellReload()`，这个函数在检查 `Character->HasAuthority()` 后，调用 `void UCombatComponent::UpdateAmmoValues()`。上文中，对于普通武器，仍然是确定其在服务器上之后才调用对应的Ammo更新函数，这表明Ammo是需要在服务器上更新的，同时，又因为其是Replicated，对于客户端，会在对应的OnRep函数里调用HUD函数绘制Ammo的变化。

```
void UCombatComponent::UpdateShotGunAmmoValues()
{
    if (Character == nullptr || EquippedWeapon == nullptr || EquippedWeapon->GetWeaponType() != EWeaponType::EWT_ShotGun) return;
```

```
    int32 RoomInMag = EquippedWeapon->GetMagCapacity() - EquippedWeapon->GetAmmo();

    if (CarriedAmmoMap.Contains(EquippedWeapon->GetWeaponType()))
    {
        CarriedAmmoMap[EquippedWeapon->GetWeaponType()] -= (RoomInMag == 0) ? 0 : 1;
        CarriedAmmo = CarriedAmmoMap[EquippedWeapon->GetWeaponType()];
    }

    Controller = Controller == nullptr ? Cast<ABlasterPlayerController>(Character->Controller) : Controller;
    if (Controller)
    {
        Controller->SetHUDCarriedAmmo(CarriedAmmo);
    }
    EquippedWeapon->AddAmmo((RoomInMag == 0) ? 0 : -1);

    bCanFire = true;

    if (EquippedWeapon->IsFull() || CarriedAmmo == 0)
    {
        JumpToShutGunEnd();
    }
}
```

上述代码和 `void UCombatComponent::UpdateAmmoValues()` 基本一致，但是将填装的子弹确定为1（或者0），随后判断武器是否填满，或者身上已经没有子弹，如果是的话，直接跳转到End，结束换弹。

同时注意，这里设置了 `bCanFire = true;`，这会导致可以使用开火打断ShotGun的换弹。当然简单的将 `bCanFire = true;` 并不能使得武器立刻可以开火，于是做了如下工作：

```
bool UCombatComponent::CanFire()
{
    if (EquippedWeapon == nullptr) return false;
    // 特别为霰弹枪添加的条件：重装状态下也可以开火
    if (!EquippedWeapon->IsEmpty() && bCanFire && CombatState == ECombatState::ECS_Reloading && EquippedWeapon->GetWeaponType() == EWeaponType::EWT_ShotGun) return true;
    // 普通武器的开火条件
    return !EquippedWeapon->IsEmpty() && bCanFire && (CombatState == ECombatState::ECS_Unoccupied);
}

void UCombatComponent::UpdateShotGunAmmoValues()
{
    // ...弹药更新逻辑...

    bCanFire = true; // 每次装填一发子弹后立即恢复开火能力

    // ...其他逻辑...
}
```

```
18
19  void UCombatComponent::MulticastFire_Implementation(const FVector_NetQuantize&
    TraceHitTarget)
20  {
21      if (EquippedWeapon == nullptr) return;
22
23      // 霰弹枪重装期间的特殊处理
24      if (Character && CombatState == ECombatState::ECS_Reloading &&
    EquippedWeapon->GetWeaponType() == EWeaponType::EWT_ShotGun)
25      {
26          Character->PlayFireMontage(bAiming);
27          EquippedWeapon->Fire(TraceHitTarget);
28          CombatState = ECombatState::ECS_Unoccupied; // 打断重装，设置为未占用状态
29          return;
30      }
31
32      // 普通情况下的开火处理
33      if (Character && (CombatState == ECombatState::ECS_Unoccupied))
34      {
35          Character->PlayFireMontage(bAiming);
36          EquippedWeapon->Fire(TraceHitTarget);
37      }
38  }
39
40  void UCombatComponent::OnRep_CombatState()
41  {
42      switch (CombatState)
43      {
44      case ECombatState::ECS_Reloading:
45          HandleReload();
46          break;
47      case ECombatState::ECS_Unoccupied:
48          if (bFirebuttonPressed) // 如果玩家一直按着开火键
49          {
50              Fire(); // 立即开火
51          }
52          break;
53      }
54  }
55
56  void UCombatComponent::OnRep_CombatState()
57  {
58      switch (CombatState)
59      {
60      case ECombatState::ECS_Reloading:
61          HandleReload();
62          break;
63      case ECombatState::ECS_Unoccupied:
64          if (bFirebuttonPressed) // 如果玩家一直按着开火键
65          {
66              Fire(); // 立即开火
67          }
```

```
        break;
    }
}

void UCombatComponent::FinishReloading()
{
    if (Character == nullptr) return;
    if (Character->HasAuthority())
    {
        CombatState = ECombatState::ECS_Unoccupied;
        UpdateAmmoValues();
    }
    if (bFirebuttonPressed) // 重装完成后，如果还按着开火键
    {
        Fire(); // 继续开火
    }
}
```

7.7.2.3 OnRep_CarriedAmmo()

```
void UCombatComponent::OnRep_CarriedAmmo()
{
    Controller = Controller == nullptr ? Cast<ABlasterPlayerController>
(Character->Controller) : Controller;
    if (Controller)
    {
        Controller->SetHUDCarriedAmmo(CarriedAmmo);
    }
    bool bJumpToShutGunEnd = CombatState == ECombatState::ECS_Reloading &&
        EquippedWeapon != nullptr &&
        EquippedWeapon->GetWeaponType() == EWeaponType::EWT_ShotGun &&
        CarriedAmmo == 0;
    if (bJumpToShutGunEnd)
    {
        JumpToShutGunEnd();
    }
}
```