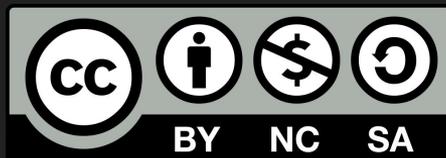


Motor de Jogos e Arquitetura

Arquitetura por trás de uma *game engine*

Slides por:
Gustavo Ferreira Ceccon (TEDJE - FoG - ICMC, 2017)





Este material é uma criação do
Time de Ensino de Desenvolvimento de Jogos
Eletrônicos (TEDJE)

Filiado ao grupo de cultura e extensão
Fellowship of the Game (FoG), vinculado ao
ICMC - USP

Este material possui licença CC By-NC-SA. Mais informações em:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Objetivos

- Conceitos básicos e as partes de um motor de jogos
 - ◆ Core, Physics, Graphics, Audio e Networking
- Por onde começar
 - ◆ Paradigmas e linguagens de programação
 - ◆ Plataformas (editor e build)
- Arquitetura de um jogo
 - ◆ Classes e ferramentas essenciais



Objetivos

- Estrutura: jogo, cena e game object
- Modelos de programação
 - ◆ Herança e composição
- Gerenciamento de memória e processamento
 - ◆ Alocação e bom uso
- Design patterns



Objetivos

- Game loop
 - ◆ Tipos de game loops
 - ◆ Interpolação e extrapolação
 - ◆ Paralelismo
- Formas de input



Índice

1. Introdução
2. Arquitetura e Estrutura
3. Gerenciamento de Memória
4. Gerenciamento de Processo
5. Design Patterns
6. Game Loop
7. Input



1. Introdução



1. Introdução

O que é um jogo? (OH NO, NOT AGAIN!!)



1. Introdução

Soft Real-Time Interactive Agent-Based Computer Simulations



1. Introdução

→ Computer Simulations

- ◆ Simulação de um mundo virtual
- ◆ Modelos matemáticos e físicos do mundo real
- ◆ Equilíbrio entre realismo e fantasia





Tom Clancy's The Division (2016)



Need for Speed (2015)



1. Introdução

→ Interactive Agent-Based

- ◆ Objetos geralmente modelados como atores que têm impacto no jogo
- ◆ Geralmente orientado à objetos, ou seja, tem características e funções (reativos em relação ao input)





L.A. Noire (2011)

1. Introdução

→ Real-Time

- ◆ 60 FPS = 0,0166.. ms; 30 FPS = 0,03.. ms (NTSC)
- ◆ 24 FPS = 0,04166.. ms
- ◆ Tempo limitado para processar o input e mostrar o resultado das ações (interactive)





The Witcher 3 (2015)

1. Introdução

→ Soft System

- ◆ Recuperável no caso de fps drop, por exemplo
- ◆ Ao contrário de Hard Systems, que podem ser sistemas críticos



1. Introdução

- Além disso, usam simulação discreta
 - ◆ A física e toda matemática funciona baseada no tempo passado entre frames
 - ◆ Representação mais fácil dado o contexto (computação)
 - Uso extensivo de ponto flutuante, o que gera erros de aproximação



1. Introdução

- O que é um motor de jogos (game engine)?
 - ◆ Estrutura fundamental, base de todo jogo, podendo conter partes específicas de gêneros de jogos
 - ◆ Contém os módulos essenciais, como gráficos e áudio



1. Introdução

→ O que oferece?

- ◆ Interface com o programador e designer (editor)
- ◆ Funções básicas como renderizar mesh, tocar sons, aplicar transformações etc., além de estruturar básicas que representam os objetos
- ◆ Exportação para múltiplas plataformas (geralmente), além de editores (alguns casos)



1. Introdução

→ Por que estudar?

- ◆ Funcionamento do hardware e software, além do conhecimento de como funciona por trás do game design
- ◆ Aplicação de diversas áreas da computação, aprendidas num curso de Ciências da Computação



1. Introdução

→ Vantagens

- ◆ Modularização, um código mais organizado e independente
- ◆ Reaproveitamento, podendo usar em múltiplos jogos
- ◆ Flexível, fácil mudança do código do jogo e adaptação
- ◆ Atender múltiplas plataformas, útil hoje em dia já que temos um grande número de usuários jogando em diferentes consoles, sistemas operacionais etc.



1. Introdução

→ Desvantagens

- ◆ Ficar preso à engine e o que ela oferece, levando à gambiarras muitas vezes
- ◆ Não extensível, podendo não atender todas as necessidades, tornando difícil desenvolvimento



1. Introdução

→ Por onde começar?

- ◆ Escolha plataformas, tanto do editor (se existir) e de exportação
- ◆ Escolha de paradigma e de linguagem, além de quais bibliotecas externas e ferramentas de desenvolvimento (version control, IDE)
- ◆ Estruturação e arquitetura da engine, além de que área cobre a sua engine
- ◆ Bottom-up development vs. Top-down development



1. Introdução

→ História breve

- ◆ Arcades e consoles eram hardware specific
- ◆ Ao poucos foram aproveitando código comum entre jogos similares (Quake e outros FPS)
- ◆ O mercado de engines começou a crescer (Unreal e Source)
- ◆ Unreal 4 e novos modelos de negócio, open-source e percentagem de lucro

1. Introdução

→ Exemplos

- ◆ Quake Family (Doom, Quake, Medal of Honor)
- ◆ Unreal Family (Unreal Tournament e Gears of War)
 - Atualmente uma das mais usadas pelas AAA
- ◆ Source Engine (muitos jogos da Valve)
- ◆ Unity (muitos jogos indies)



2. Arquitetura e Estrutura



2. Arquitetura

Exemplo completo



2. Arquitetura

- Muitas vezes separadas em módulos ou camadas
 - ◆ Existe uma certa dificuldade de separar os módulos, porque existe uma grande quantidade de intersecções
 - Camadas de dependência, nível de abstração e de proximidade com hardware
 - ◆ Genericamente falando: graphics, audio, physics, networking, além do core, que é o fundamento para o jogo em si
 - ◆ Core pode conter coisas específicas de plataforma e de gênero



2. Arquitetura

- Estruturação geral de uma engine (baixo nível)
 - ◆ Game/World/Window
 - ◆ Scene/Level
 - ◆ Entity/Actor/Game Object
- Geralmente usam um modelo hierárquico na implementação, implementando um árvore ou grafo (Scene Graph), o que facilita algumas operações como transformação



2. Arquitetura

→ Game/World/Window

- ◆ Cuida da inicialização e término, em algumas plataformas existe um trabalho exaustivo
 - Bibliotecas externas podem ser inicializadas junto
- ◆ Engloba as cenas (uma ou mais delas) e oferece diversas funções para manipulação delas e da janela
- ◆ Cuida do input (keyboard, mouse, joystick)



2. Arquitetura

Exemplo: Win32 API

Exemplo: Haze



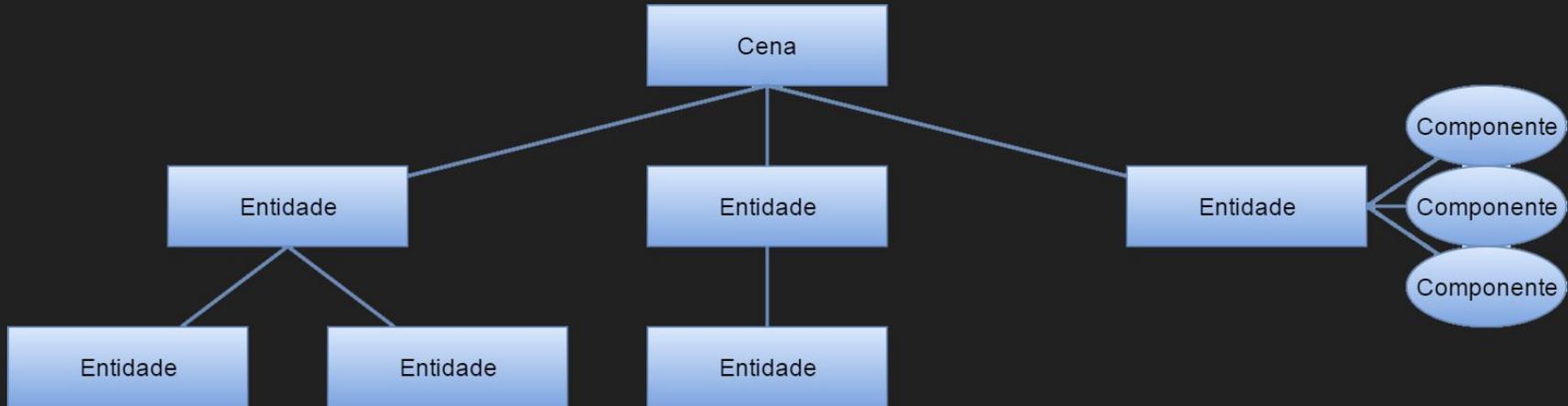
2. Arquitetura e Estrutura

→ Scene/Level

- ◆ Cuida dos objetos, execução dos scripts e do level em si
- ◆ Representa o level e está atrelado ao game design
 - Pode ser parte dele, quando o universo é muito grande (GTA V) ou ele inteiro (fase do Mario)
- ◆ Implementa alguma estrutura para guardar os objetos, podendo ser uma árvore, por exemplo



2. Arquitetura e Estrutura

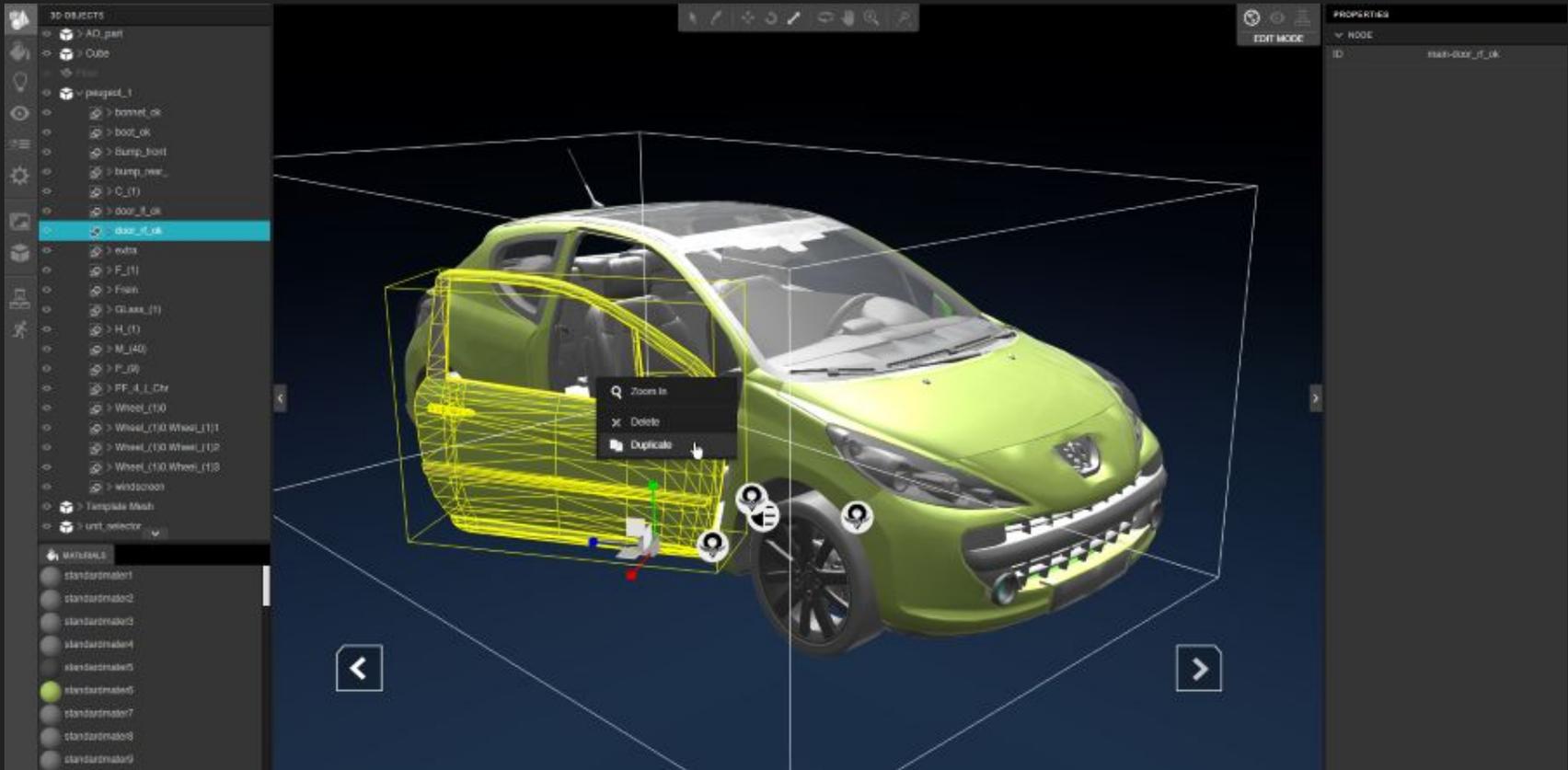


2. Arquitetura e Estrutura

→ Hierarquia em árvore

- ◆ Útil para aplicar transformações relativas e globais
- ◆ Usado principalmente na construção do level, pois facilita o posicionamento e interação
- ◆ Jeito intuitivo de mexer com objetos





CL3VER Software



2. Arquitetura e Estrutura

→ Entity/Actor/Game Object

- ◆ Representam os objetos (desde props até jogador)
- ◆ Estão atrelados à execução do jogo e ao game loop, contém comportamentos, se houver algum
- ◆ Existem duas formas principais para criar um game object: herança e composição



2. Arquitetura e Estrutura

- Como codificar esses objetos?
 - ◆ Eles têm atributos, mecânicas e comportamento
 - ◆ Tem coisas em comum e comunicam entre si
 - ◆ Dependendo do paradigma escolhido, a implementação fica diferente



2. Arquitetura e Estrutura

→ Programação imperativa

- ◆ Simples e direto, sem muito problema na implementação
- ◆ Eficiente, porque é amigável com arquitetura de Von Neumann
- ◆ Data-driven, como jogos geralmente são explorados
- ◆ Pode levar à um código grande e pouco legível
- ◆ Uso de ponteiro de funções pode levar a bugs



2. Arquitetura e Estrutura

- Programação orientada a objeto
 - ◆ Classes cobrem tanto dados quanto comportamento
 - ◆ Pode se fazer uso de herança, polimorfismo etc.
 - ◆ Bom reaproveitamento de código e extensível
 - ◆ Pode ser overkill, coisas que você não precisa realmente
 - ◆ Número de classes pode subir exponencialmente, muita generalização pode aumentar a carga de trabalho



2. Arquitetura e Estrutura

→ Herança

- ◆ Habilidade de herdar membros e métodos de uma classe pai
- ◆ Útil quando a entidade é generalizada, podendo estender ela para criar os objetos do jogo que tem mesmos atributos e comportamentos
- ◆ Pode ficar complicado separar as diferenças e juntar as semelhanças nos nós da árvore de herança

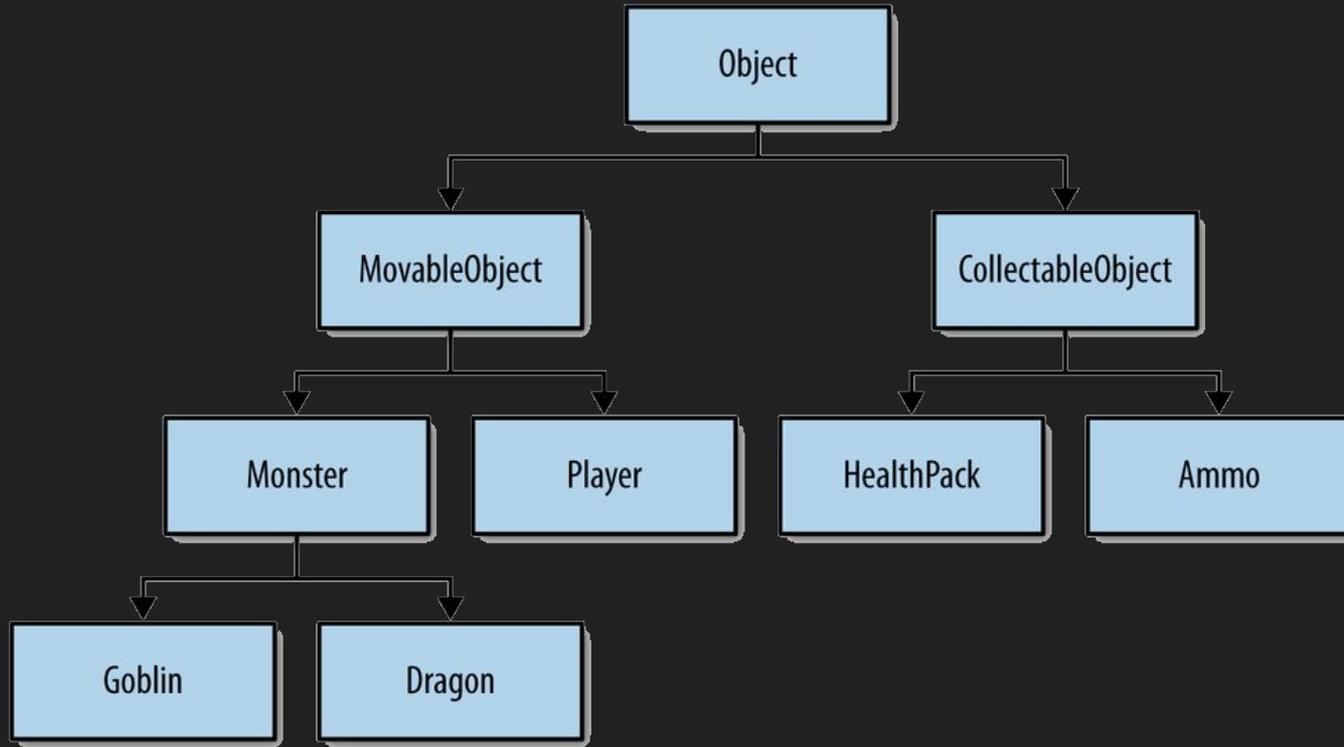


2. Arquitetura e Estrutura

→ Herança

- ◆ Quando há a necessidade de juntar as semelhanças, as funções sobem na árvore, entupindo de funcionalidade as classes pai
 - Classes filho começam a implementar coisas inúteis
- ◆ Quando há necessidade de separar as diferenças, as funções descem na árvore, tornando o código complexo e difícil de entender
 - Classes pai começam a ficar irrelevantes





Árvore de herança



2. Arquitetura e Estrutura

→ Composição

- ◆ Adicionar pequenos comportamentos e atributos comuns em cada objeto invés de herdá-los
- ◆ Cada script representa um componente e cada objeto contém um vetor de componentes
- ◆ É possível representar todos scripts como uma matriz também
- ◆ Pode ser overkill para jogos pequenos o suficiente



2. Arquitetura e Estrutura

→ Composição

- ◆ A dependência entre componentes e objetos pode complicar a execução dos scripts
 - Se um script depende de outro script, isso pode quebrar o paralelismo, uma das vantagens de usar composição
 - A comunicação entre objetos e scripts fica pesada e juntar scripts pode quebrar a ideia de composição
- ◆ Nem sempre é trivial separar as funcionalidades



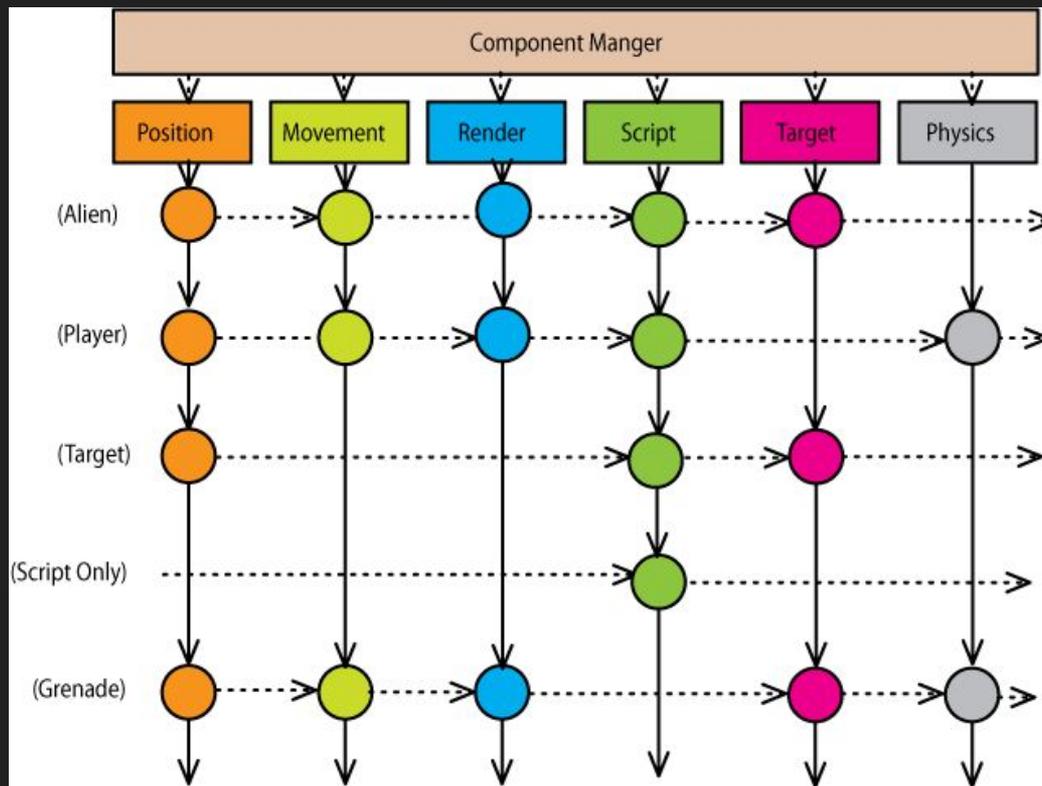


Figure 2 Object composition using components, viewed as a grid.

Matriz esparsa de componentes

2. Arquitetura e Estrutura

- Melhor de dois mundos (híbrido)
 - ◆ Usar pouca herança (árvore pequena) e o suficiente de composição (para as funcionalidades) para facilitar o desenvolvimento

3. Gerenciamento de Memória



3. Gerenciamento de Memória

- Como jogos são sistema de tempo real, é necessário aproveitar cada milésimo de segundo possível
 - ◆ Isso só é possível paralelizando as tarefas e otimizando o uso de memória e processamento
- Gerenciamento de memória tem um papel importante, já que o custo de alocação e desalocação é alto
- Também implica no aproveitamento da cache



3. Gerenciamento de Memória

- Estruturas de dados em C e classes em C++ trabalham de formas diferentes
 - ◆ Classes têm um ponteiro (vpointer) para uma tabela (vtable) das funções virtuais
 - Funções virtuais, são funções “abstratas” que podem ser sobrescritas
 - ◆ Isso modifica o tamanho esperado da instância



3. Gerenciamento de Memória

- Alinhamento é como os dados de uma estrutura estão organizados na memória
 - ◆ Em geral eles estão na ordem da declaração, o problema é aproveitamento de espaço
 - ◆ Quando temos variáveis pequenas que não podem ser agrupadas com variáveis vizinhas, criamos um buraco
 - ◆ Alguns compiladores têm otimização



3. Gerenciamento de Memória

```
struct InefficientPacking {  
    U32 mU1; // 32 bits  
    F32 mF2; // 32 bits  
    U8 mB3; // 8 bits  
    I32 mI4; // 32 bits  
    bool mB5; // 8 bits  
    char* mP6; // 32 bits  
};
```



0x0	mU1	
0x4	mF2	
0x8	mB3	
0xC	mI4	
0x10	mB5	
0x14	mP6	

Alinhamento do InefficientPacking



3. Gerenciamento de Memória

```
struct MoreEfficientPacking {  
    U32 mU1; // 32 bits (4-byte aligned)  
    F32 mF2; // 32 bits (4-byte aligned)  
    I32 mI4; // 32 bits (4-byte aligned)  
    char* mP6; // 32 bits (4-byte aligned)  
    U8 mB3; // 8 bits (1-byte aligned)  
    bool mB5; // 8 bits (1-byte aligned)  
};
```



0x0	mU1		
0x4	mF2		
0x8	mI4		
0xC	mP6		
0x10	mB3	mB5	

Alinhamento do MoreEfficientPacking

3. Gerenciamento de Memória

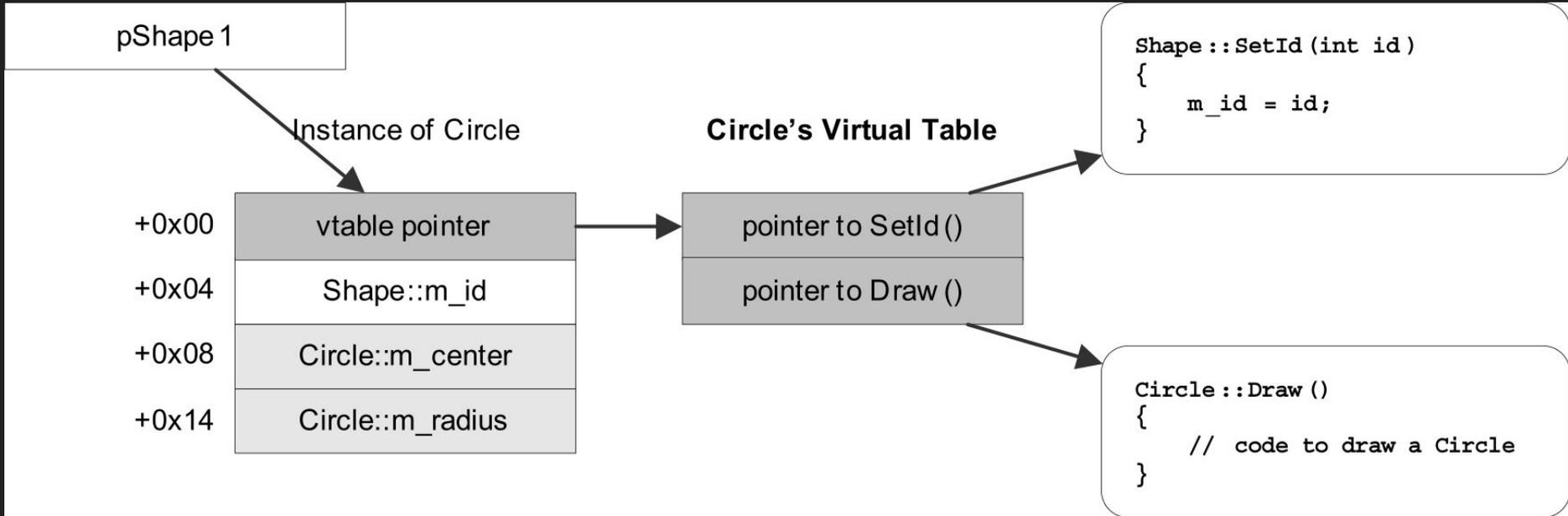
```
class Shape {  
public:  
    virtual void SetId(int id) { m_id = id; }  
    int GetId() const { return m_id; }  
    virtual void Draw() = 0; // pure virtual - no impl.  
private:  
    int m_id;  
};
```



3. Gerenciamento de Memória

```
class Circle : public Shape {
public:
    void SetCenter(const Vector3& c) { m_center=c; }
    Vector3 GetCenter() const { return m_center; }
    void SetRadius(float r) { m_radius = r; }
    float GetRadius() const { return m_radius; }
    virtual void Draw() { // Code to draw a circle }
private:
    Vector3 m_center; float m_radius;
};
```





Organização de Circle



3. Gerenciamento de Memória

- Alocação de memória é custoso, o sistema operacional faz o que é possível para tornar menos custoso e aproveitar melhor a memória
- Nem sempre ele faz um trabalho bom (obrigado Windows), então o programador fica encarregado de implementar sua própria classe de gerenciamento de memória



3. Gerenciamento de Memória

- Um das classes é a Stack Allocator
 - ◆ Colocamos cada espaço alocado de memória um seguido do outro
 - ◆ Quando necessário liberar memória, fazemos tudo de uma vez
 - ◆ Não podemos liberar a memória a qualquer momento, precisa ser na mesma ordem
 - Isso significa que as coisas devem ser feitas no início e no fim de cada bloco de código



3. Gerenciamento de Memória

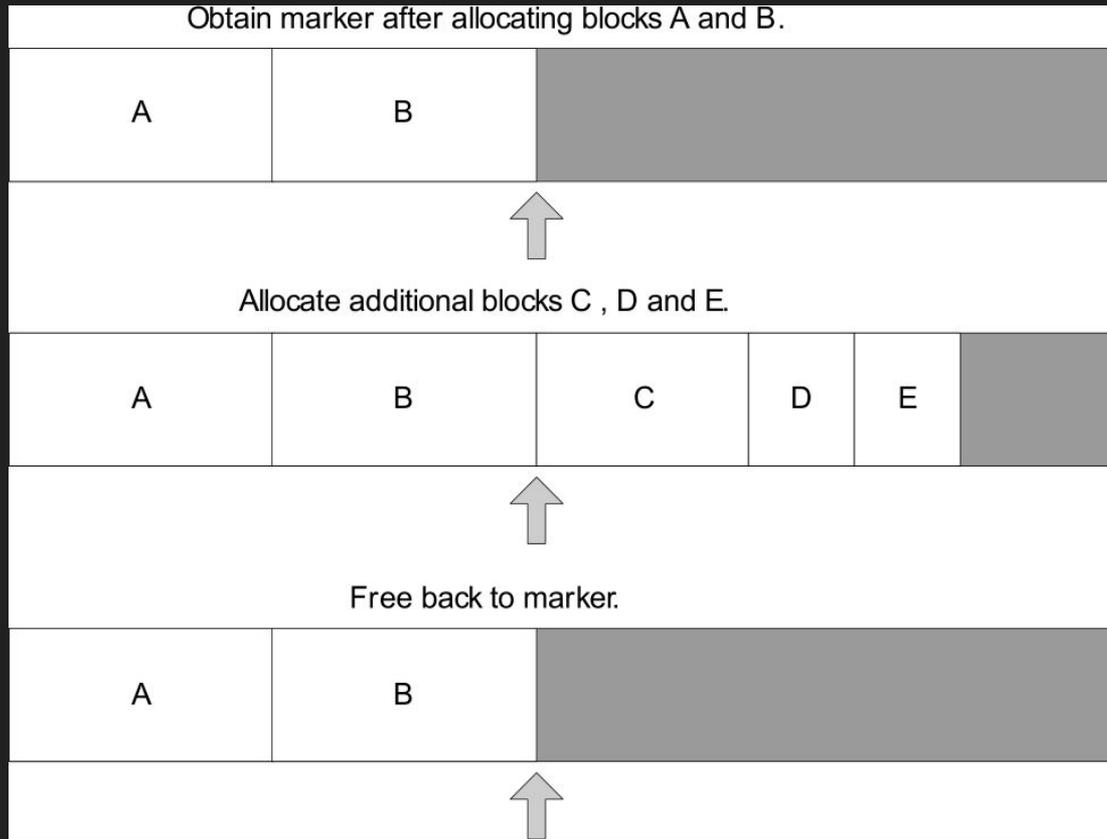
- Uma das classes mais comuns é a Pool Allocator
 - ◆ Deixamos um pedaço grande da memória alocada e marcamos blocos dela como livres ou não
 - ◆ Quando requisitada memória, escolhemos um bloco na lista de blocos livres e devolvemos
 - ◆ Tem problemas com tamanhos diferentes e não múltiplo
 - Múltiplos Pool Allocators? Um para cada tamanho
 - Blocos de tamanho variado? Problema na realocação



3. Gerenciamento de Memória

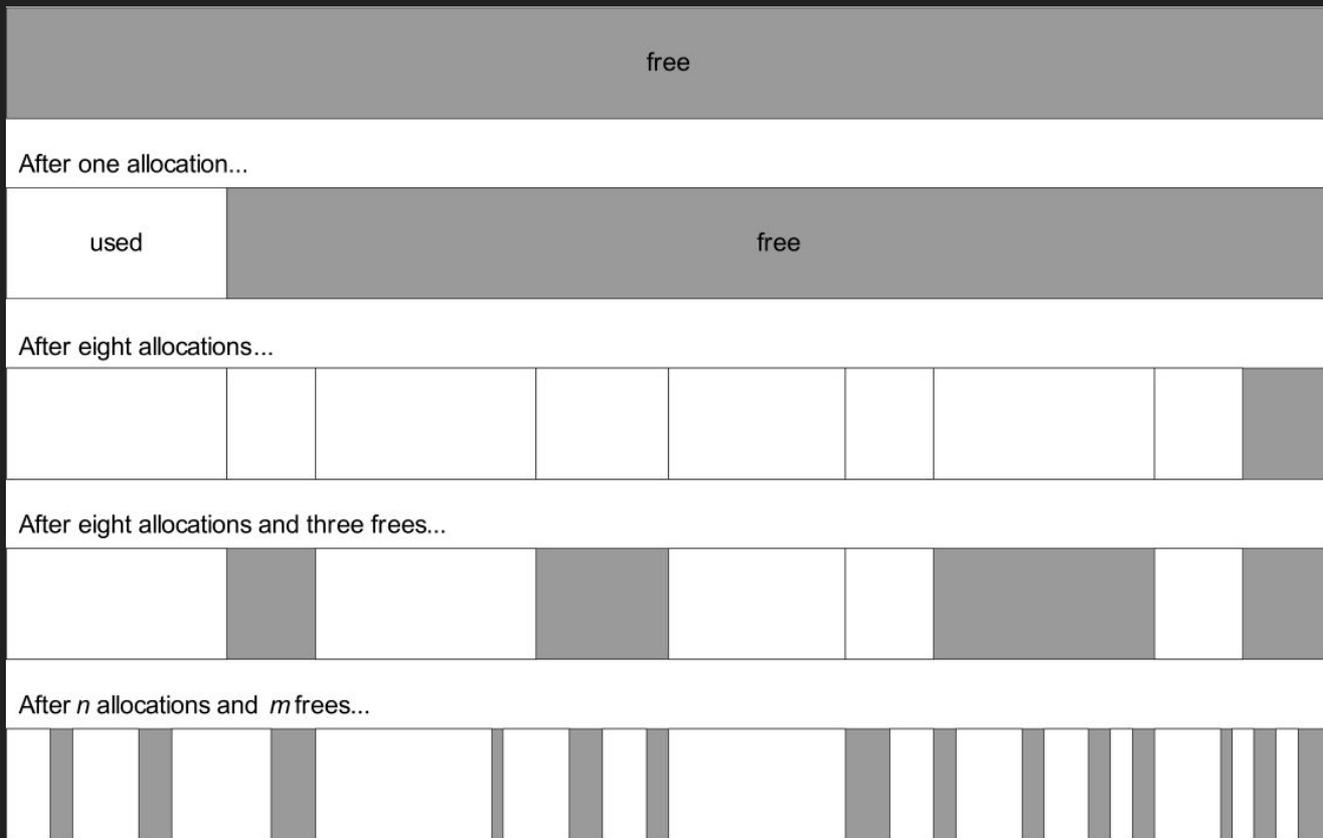
- Fragmentação acontece frequentemente, quando acaba sobrando um espaço de memória que não conseguimos alocar para nada
- Solução é desfragmentar a memória, o que é muito mais custoso, então fazemos com sabedoria
- O Garbage Collector do Java e do C# funciona parecido, só que você tem pouco controle sobre eles



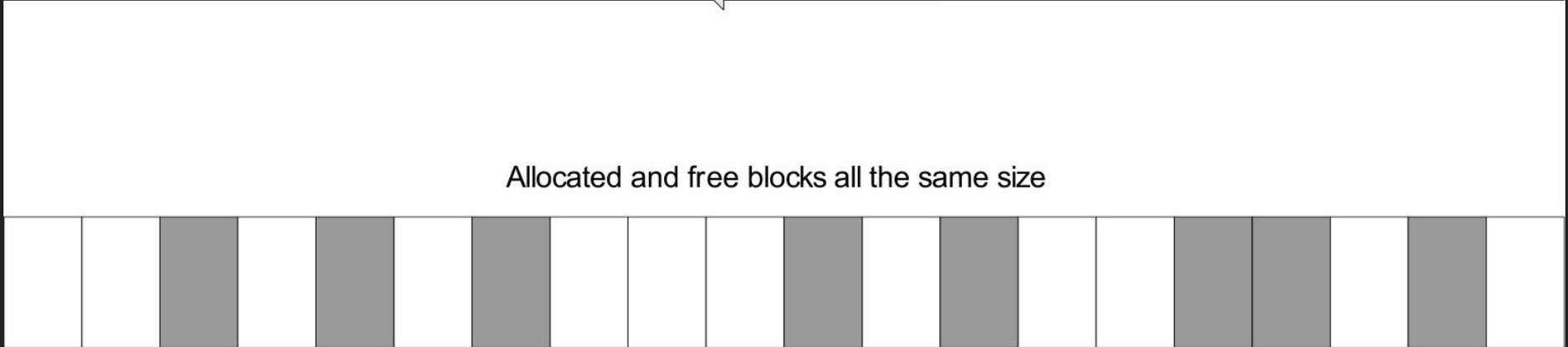
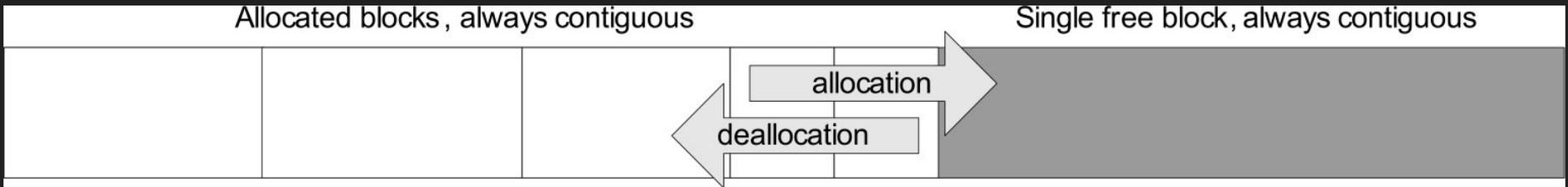


Stack Allocator

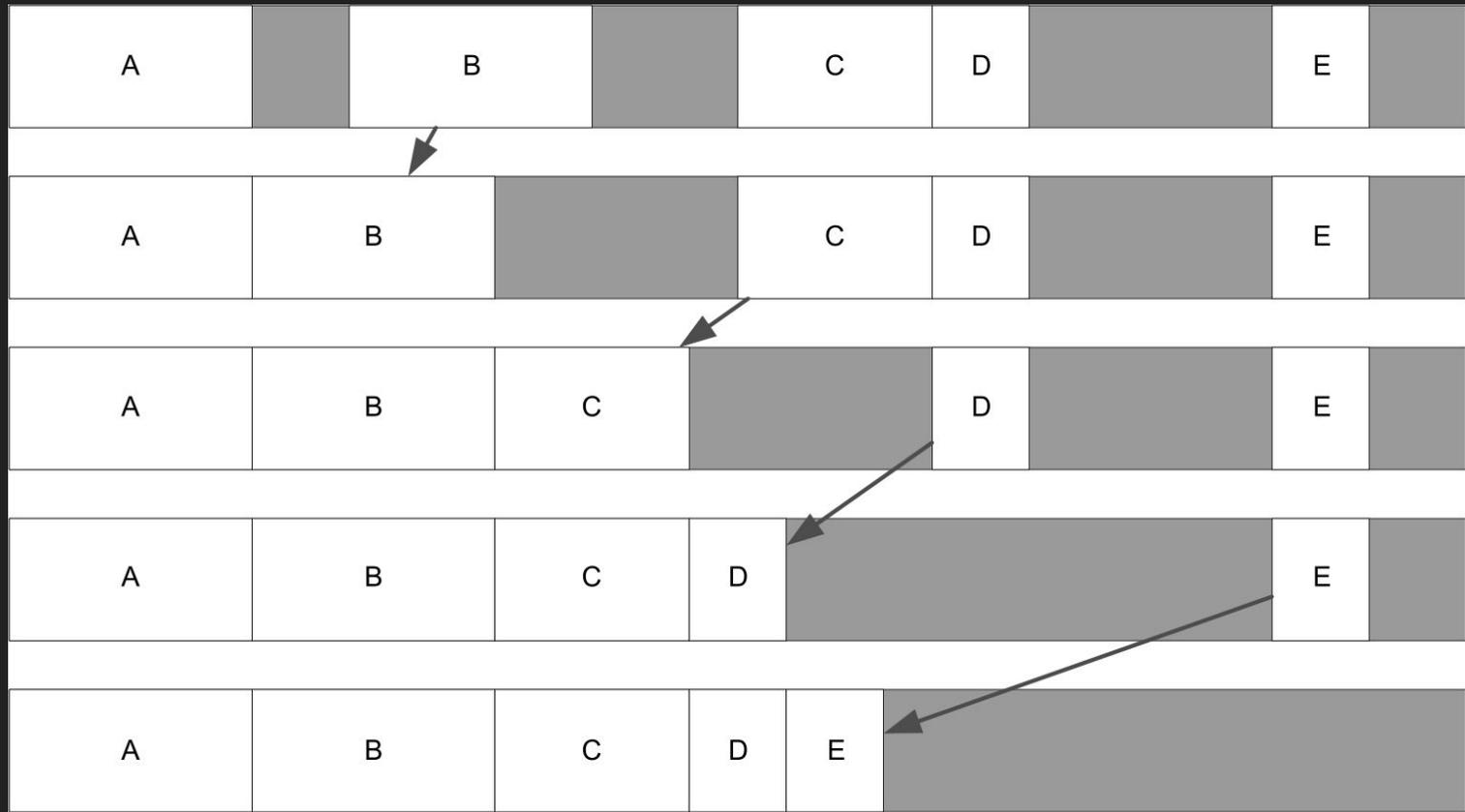




Fragmentação



Fragmentação nos casos de Stack e Pool Allocators



Desfragmentação

3. Gerenciamento de Memória

- Tudo isso é para otimizar o caching do processador
- Processador gosta de acessar blocos contínuos da memória, e quando fazemos isso, evitamos cache-miss
 - ◆ Um grande boost de velocidade
- Uso de vetores pode auxiliar muito



3. Gerenciamento de Memória

- Object-Centric Architecture (AOS - Array Of Structures)
 - ◆ Instâncias de objetos contém as propriedades e temos uma coleção de objetos
 - ◆ Mais legível e amigável com programador
- Property-Centric Architecture (SOA - Structure Of Arrays)
 - ◆ Temos uma coleção de propriedades e cada objeto tem um id para as propriedades
 - ◆ Menos legível e amigável com a máquina



Objeto 1		Objeto 2		
HP	Mana	HP	Mana	Mago
100	10	50	200	Object

HP		Mana		Mago
Objeto 1	Objeto 2	Objeto 1	Objeto 2	Objeto 2
100	50	10	200	Object



3. Gerenciamento de Memória

- O disco rígido também sofre seus problemas, por exemplo, fragmentação
 - ◆ Um jogo contém muitos arquivos de arte, música, som, texto etc., isso ocupa muito espaço
 - ◆ Muitos arquivos também podem acabar fragmentando o disco
 - ◆ Além da compressão de cada asset, compactamos todos eles em zip, por exemplo



3. Gerenciamento de Memória

- Assim diminuimos o desperdício de memória, porém aumentamos o custo de processamento, para descompactar esses assets
- Por isso organizamos em diferentes packs, podendo seguir a linha de game design e similaridade
- ◆ Um level tem um zip próprio com os assets daquele level, por exemplo

4. Gerenciamento de Processo



4. Gerenciamento de Processo

- Além de melhorar o aproveitamento de memória, precisamos melhorar o aproveitamento de processamento
- Temos muitas tarefas para cumprir, num pequeno espaço de tempo, como vamos dividir essas tarefas?
 - ◆ Paralelismo
- Mais fácil falar do que fazer, existem diversos problemas de concorrência

4. Gerenciamento de Processo

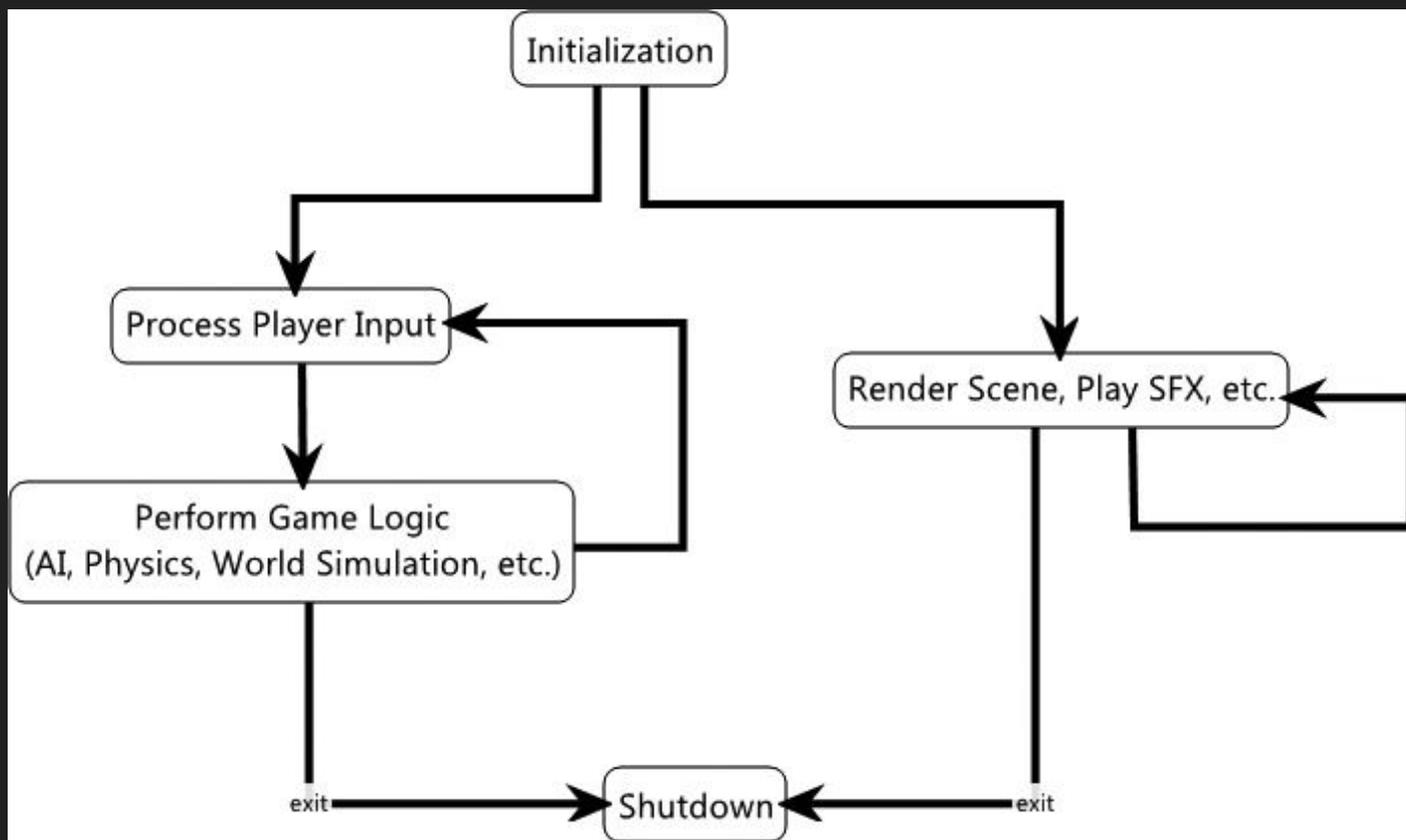
→ Opções:

- ◆ Paralelizar cada pedaço da engine (áudio, gráficos, física, IA, entidades etc.)
- ◆ Paralelizar cada tarefa dentro de cada pedaço
- ◆ Paralelizar tudo

→ Problemas:

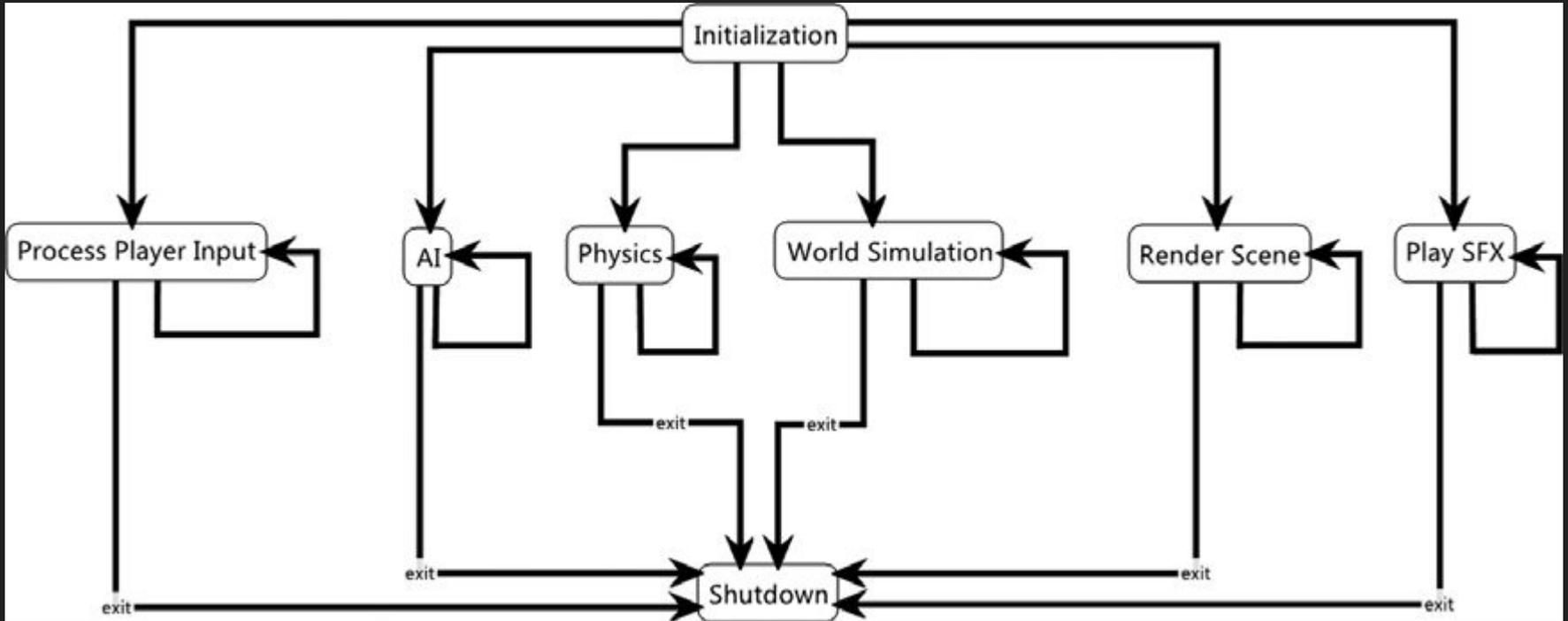
- ◆ Dependência de dados
- ◆ Memória compartilhada



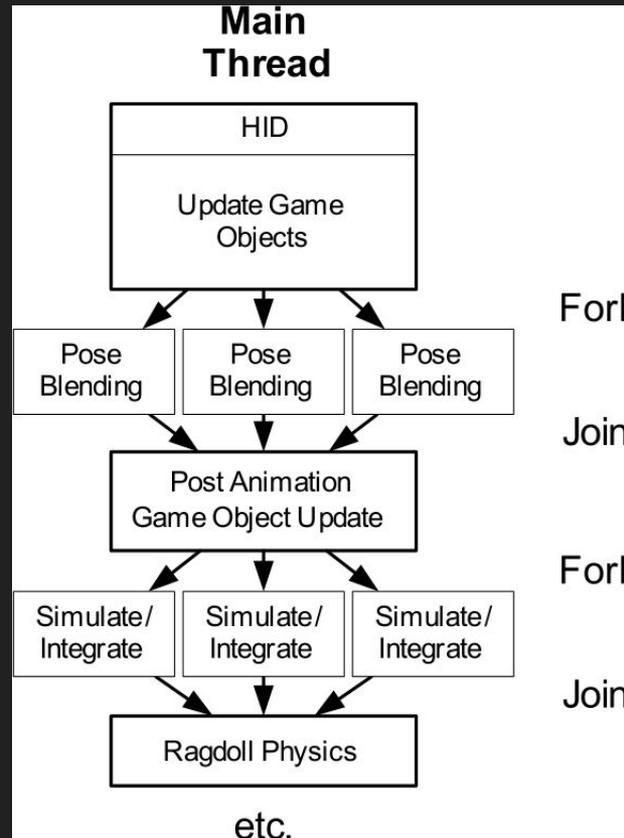


Multithread simples





Multithread cooperative



Fork e Join



4. Gerenciamento de Processo

→ Job System

- ◆ Sistema de threads onde é fácil criar e rodar processos simples (tarefas) em threads separadas
- ◆ Ele cuida de criar, manter (Thread Pool) e priorizar as threads



5. Design Patterns



5. Design Patterns

- Problemas comuns de programação resolvidos, como restrição de acesso, de criação, comportamento etc.
- Não se deve forçar um padrão sobre um problema, deve entender as aplicações e quando usar
- Geralmente voltados a problemas de programação orientada a objeto, devido a herança, escopo, polimorfismo
- Tipos: criação, estrutural, comportamental, concorrente



5. Design Patterns

- Padrões de projetos
 - ◆ Singleton (criação)
 - ◆ Observer (comportamental)
 - ◆ Flyweight (estrutural)
 - ◆ Prototype (criação)



5. Design Patterns

→ Singleton

- ◆ Exemplo: um game manager que contém informações sensíveis e que devem ser únicas. Ele controla coisas dentro de um jogo e múltiplas instâncias podem causar problemas



5. Design Patterns

→ Solução

- ◆ Deixar o construtor como privado
- ◆ Criar uma função global/estática (acessível) que retorna a instância única
 - A instância pode ser criada sempre no início
 - A instância pode ser criada na primeira chamada
 - Lazy initialization (outro padrão!)



5. Design Patterns

→ Observer

- ◆ Exemplo: uma HUD precisa saber se o jogador perdeu o não para mostrar a tela de game over, porém não é uma boa ideia chamar uma função a partir do player



5. Design Patterns

→ Solução

- ◆ Criar um evento de callback na HUD
- ◆ Adicionar um listener do script da HUD ao observer do game manager
- ◆ Quando o jogador perder, o game manager ativa o observer / evento, chamando a função de callback



5. Design Patterns

→ Flyweight

- ◆ Exemplo: precisamos renderizar um conjunto de objetos iguais (árvores) com o mesmo modelo e em posições diferentes



5. Design Patterns

→ Solução

- ◆ Compartilhamos o mesmo objeto de modelo e textura para a árvore e criamos apenas objetos com a referência ao mesmo
- ◆ Criamos novas instâncias apenas para a posição da árvore



5. Design Patterns

→ Prototype e Factory

- ◆ Exemplo: precisamos criar um spawner de monstros que tem o mesmo comportamento e atributos



5. Design Patterns

→ Solução 1 (Prototype)

- ◆ Criamos um prefab, ou seja, um modelo do monstro
- ◆ Criamos uma classe spawner que recria vários clones desse objeto
 - Shallow cloning
 - Deep cloning



5. Design Patterns

→ Solução 2 (Factory)

- ◆ Criamos uma fábrica, que sabe fazer apenas monstros
- ◆ Cada vez que criarmos um monstro, pedimos para a fábrica instanciar um novo objeto e recebemos uma entidade abstrata
- ◆ Abstract Factory é mesma coisa, só que aceita implementação de diferentes fábricas



6. Game Loop



6. Game Loop

- Jogos eletrônicos são simulações de um mundo virtual, além disso sabemos que eles são programas de tempo real
 - ◆ Portanto, jogos estão diretamente entrelaçados com a noção de tempo
- Frames Per Second (FPS) é uma medida de quantos quadros conseguimos renderizar por segundo, mas por baixo é muito mais que isso



6. Game Loop

- Temos que mostrar pelo menos 24 frames por segundo, porém também temos que lidar com monte de outras coisas
 - ◆ Audio, Input, AI, Networking etc.
- Todo frame temos iterações de processamento dessas coisas e o laço dessas iterações se chama Game Loop
 - ◆ A ordem e quantidade de processamento dedicado depende da escolha do game loop e da arquitetura do jogo.



6. Game Loop

- Vamos tentar montar o game loop:
- Objetivo:
 - ◆ Renderizar frames, que atendam expectativas do jogador
- Problemas:
 - ◆ O que processar?
 - ◆ Quanto processar?
 - ◆ Em que ordem processar?

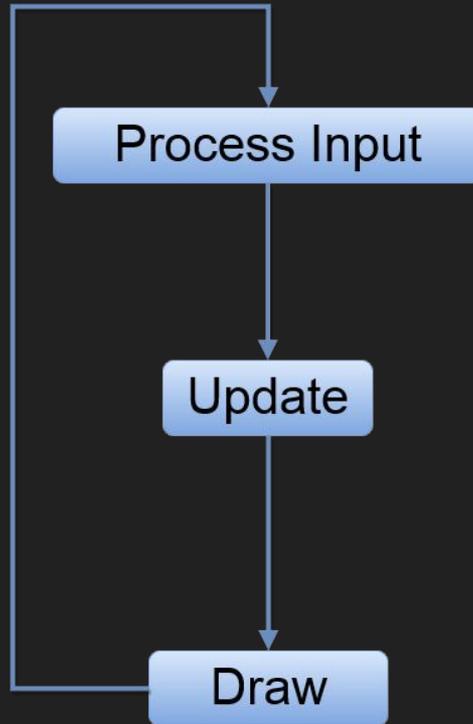


Game Loop

→ Tipos

- ◆ *Simples: CPU-dependent*
- ◆ *Simples com dt: CPU-independent*
- ◆ *Simples com dt fixo: CPU rápida simulando CPU-dependent*
- ◆ *Catch-up simples: atualiza de acordo com o tempo de render*
- ◆ *Catch-up com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de render e extrapola o restante*
- ◆ *Frame skipping*

Game Loop - Simple



Game Loop - Simples

```
while (!done)
{
    input(); //atualiza estados
    update(); //sem param.
    draw(); //sem param.
}
```



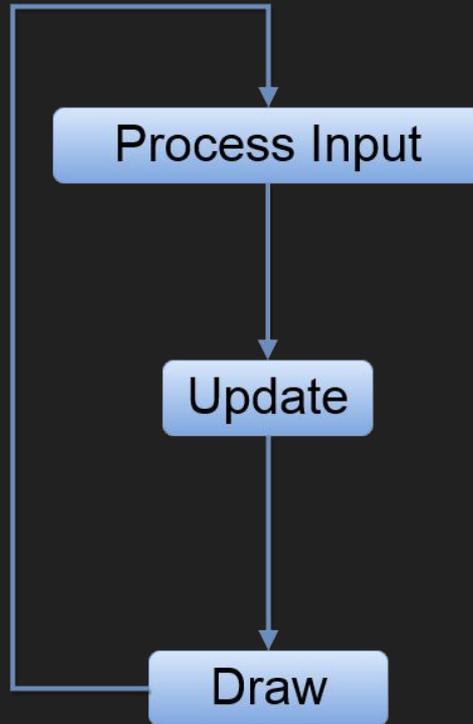
Game Loop

→ Tipos

- ◆ *Simples: CPU-dependent*
- ◆ *Simples com dt: CPU-independent*
- ◆ *Simples com dt fixo: CPU rápida simulando CPU-dependent*
- ◆ *Catch-up simples: atualiza de acordo com o tempo de render*
- ◆ *Catch-up com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de render e extrapola o restante*
- ◆ *Frame skipping*



Game Loop - Simples com dt



Game Loop - Simples com *dt*

```
lastTime = now();  
while (!done)  
{  
    current = now();  
    dt = current - last;  
    last = current;  
    input(); //atualiza estados  
    update(dt); //passa param. Física baseada em dt  
    //Método de integração  
    draw(); //sem param.  
}
```

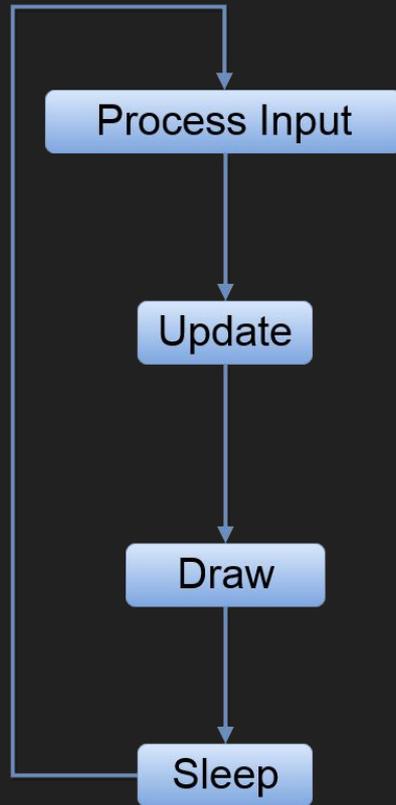


Game Loop

→ Tipos

- ◆ *Simples: CPU-dependent*
- ◆ *Simples com dt: CPU-independent*
- ◆ *Simples com dt fixo: CPU rápida simulando CPU-dependent*
- ◆ *Catch-up simples: atualiza de acordo com o tempo de render*
- ◆ *Catch-up com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de render e extrapola o restante*
- ◆ *Frame skipping*

Game Loop - Simples com *dt* fixo



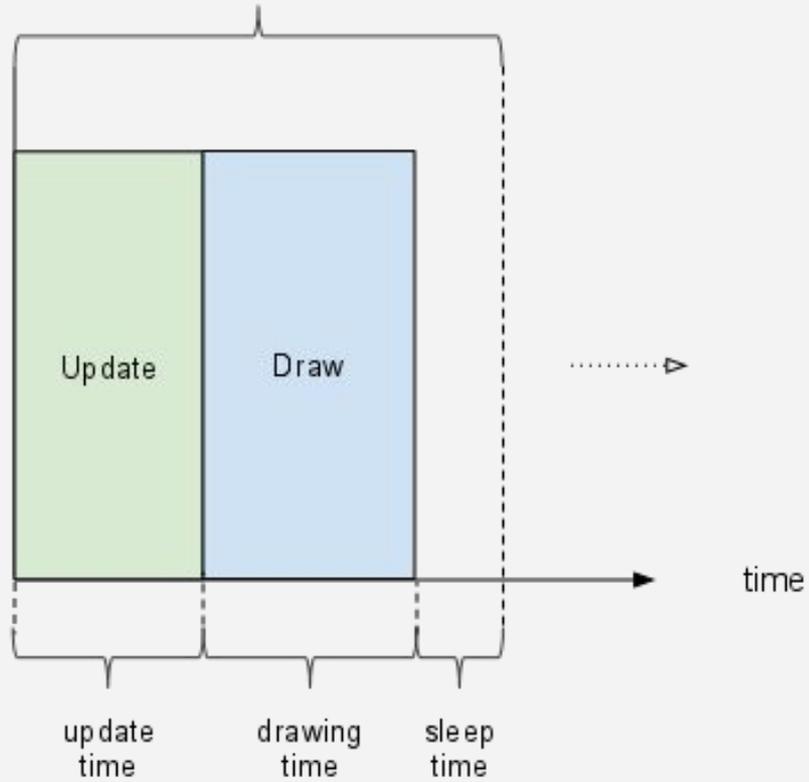
Game Loop - Simples com *dt* fixo

```
while (!done)
{
    start = now();
    input();
    update();
    draw();
    sleep(dt - (now() - start));
    //dt é fixo. now-start é o tempo do loop.
}
```



Game Loop

$1/10$ s
(1 frame)



Game Loop

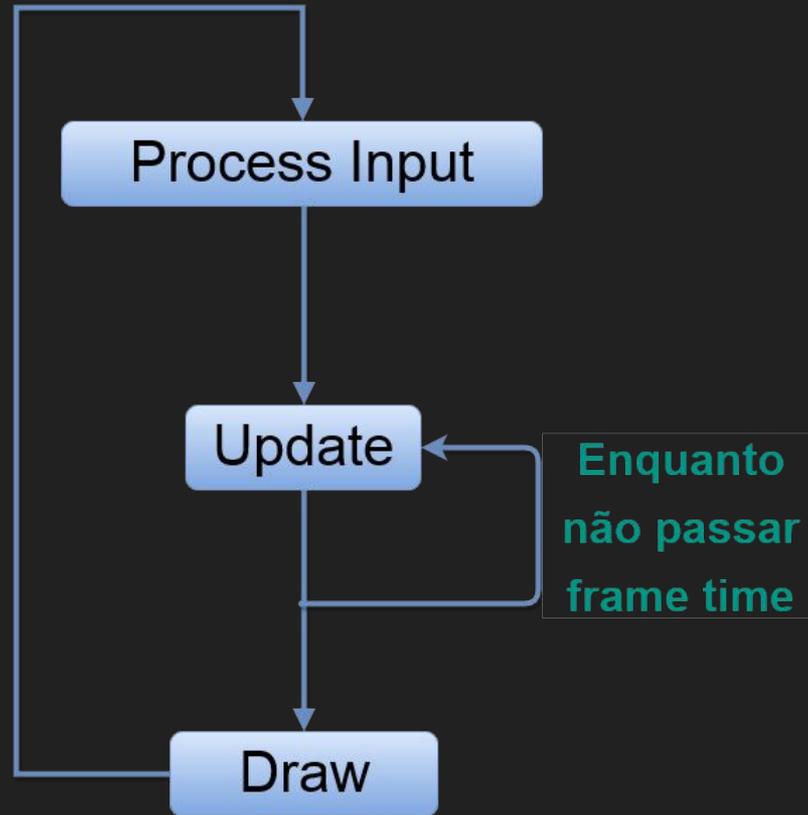
→ Tipos

- ◆ *Simples: CPU-dependent*
- ◆ *Simples com dt: CPU-independent*
- ◆ *Simples com dt fixo: CPU rápida simulando CPU-dependent*
- ◆ *Catch-up simples: atualiza de acordo com o tempo de render*
- ◆ *Catch-up com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de render e extrapola o restante*
- ◆ *Frame skipping*

Game Loop

- Em alguns casos, podemos ter CPUs mais rápidas que GPUs.
- Neste caso, o Update será mais rápido que o Draw.
- Frame time > Update time
 - ◆ UPS ≠ FPS
- Para solucionar o problema, utilizamos catch-up

Game Loop - Catch-up simples



Game Loop - Catch-up simples

```
lastTime = now()
while (!done)
{
    currentTime = now()
    frameTime = currentTime - lastTime;
    lastTime = currentTime;
    while(frameTime > 0) \\Catch-up
    {
        delta = min(frameTime, dt);\\ Menor entre fixo e o restante
        update(delta);
        frameTime -= delta;
    }
    draw();
}
```



Game Loop

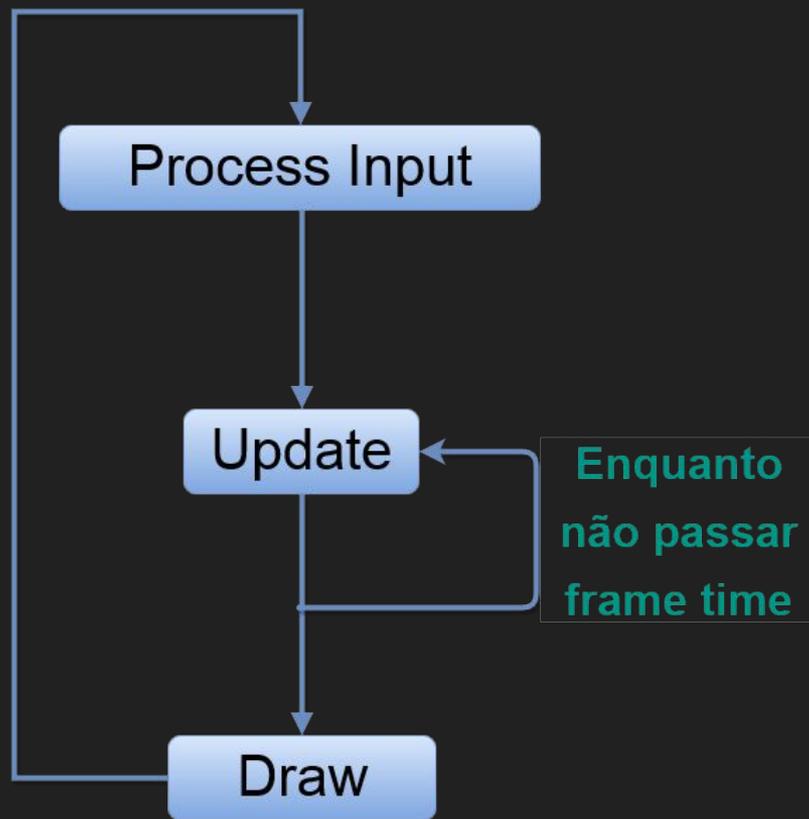
→ Tipos

- ◆ *Simples: CPU-dependent*
- ◆ *Simples com dt: CPU-independent*
- ◆ *Simples com dt fixo: CPU rápida simulando CPU-dependent*
- ◆ *Catch-up simples: atualiza de acordo com o tempo de render*
- ◆ *Catch-up com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de render e extrapola o restante*
- ◆ *Frame skipping*

Game Loop

- *Catch-up* com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de *render* e extrapola o restante
 - ◆ Se um *draw* precisa ocorrer antes de um *update* terminar
 - O resultado entre os *updates* é extrapolado
- Interpolação: um ponto entre dois pontos conhecidos
 - ◆ $P' = (1 - \alpha) * P_0 + \alpha * P \quad = 0 \leq \alpha \leq 1$
- Extrapolação: interpolação entre um ponto conhecido e uma previsão

Game Loop - Catch-up com extrapolação



Game Loop - Catch-up com extrapolação

```
lastTime = now()
accumulator = 0;
while (!done)
{
    currentTime = now()
    frameTime = currentTime - lastTime;
    lastTime = currentTime;
    accumulator += frameTime;
    while(accumulator >= dt) \\Catch-up
    {
        update(dt);\\Fixo
        accumulator -= dt;
    }
    alpha = accumulator/dt;
    draw(alpha);
    //state = (1-alpha)*previous + alpha*current;
}
```

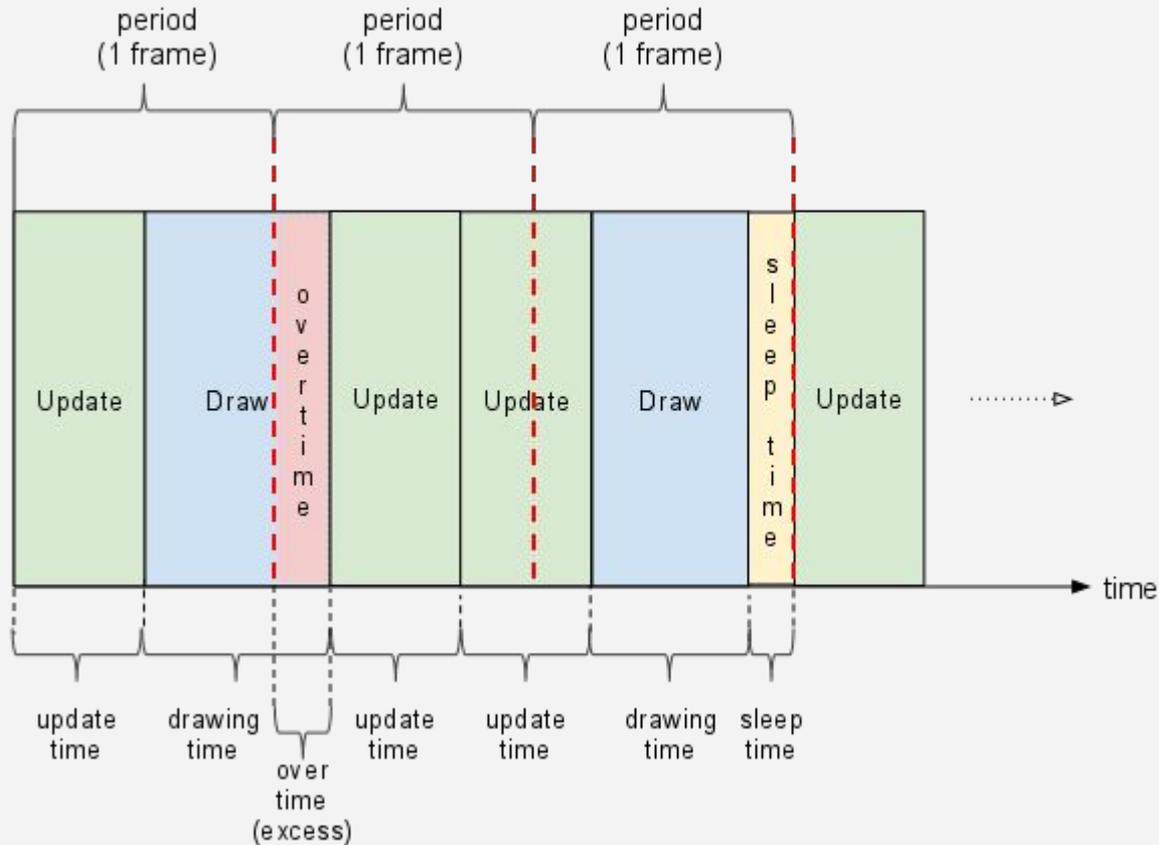


Game Loop

→ Tipos

- ◆ *Simples: CPU-dependent*
- ◆ *Simples com dt: CPU-independent*
- ◆ *Simples com dt fixo: CPU rápida simulando CPU-dependent*
- ◆ *Catch-up simples: atualiza de acordo com o tempo de render*
- ◆ *Catch-up com extrapolação: atualiza de acordo com o tempo de render e extrapola o restante*
- ◆ **Frame skipping**

Game Loop



Game Loop - frame skipping

```
MAX_FPS = 50;
MAX_FRAME_SKIPS = 5;
FRAME_PERIOD = 1000 / MAX_FPS;
beginTime;    // the time when the cycle begun
timeDiff;    // the time it took for the cycle to execute
sleepTime;    // ms to sleep (<0 if we're behind)
framesSkipped; // number of frames being skipped
sleepTime = 0;
```



Game Loop - frame skipping

```
while (!done) {
    beginTime = now();
    framesSkipped = 0;    // resetting the frames skipped
    update(); // update game state
    this.gamePanel.render(canvas); //render state to the screen
    timeDiff = now() - beginTime; // calculate how long did the cycle take
    sleepTime = FRAME_PERIOD - timeDiff; // calculate sleep time
    if (sleepTime > 0) { // if sleepTime > 0 we're OK
        sleep(sleepTime); // send the thread to sleep for a short period
    }
    while (sleepTime < 0 && framesSkipped < MAX_FRAME_SKIPS) { // we need to catch up
        update(); // update without rendering
        sleepTime += FRAME_PERIOD; // add frame period to check if in next frame
        framesSkipped++;
    }
}
```



6. Game Loop

Exemplo Unity



7. Input



7. Input

- Como receber eventos e processar eventos?
- ◆ O sistema operacional oferece diferentes formas de suporte aos eventos, geralmente uma das duas formas:
 - Callbacks e event listeners
 - Event polling e input states

7. Input

→ Callbacks e event listeners

- ◆ Implementação de funções especializadas em receber certos parâmetros
 - Keyboard, mouse, joystick
- ◆ O sistema operacional chama todas as funções implementadas “cadastradas”
- ◆ Sistemas operacionais mobile geralmente implementam essa arquitetura (Android, Java ME)



7. Input

Exemplo Android

7. Input

→ Event polling e input states

- ◆ São armazenadas mensagens ou eventos pelo sistema operacional, gerado pelas interrupções
- ◆ Quando necessário processar o evento, é dado um poll que retorna a lista de eventos que aconteceu desde o último poll
- ◆ Também é possível implementar um buffer de estados que é dado um reset todo poll
 - Acessível através de funções e membros estáticos



7. Input

Exemplo SDL

Exemplo Unity

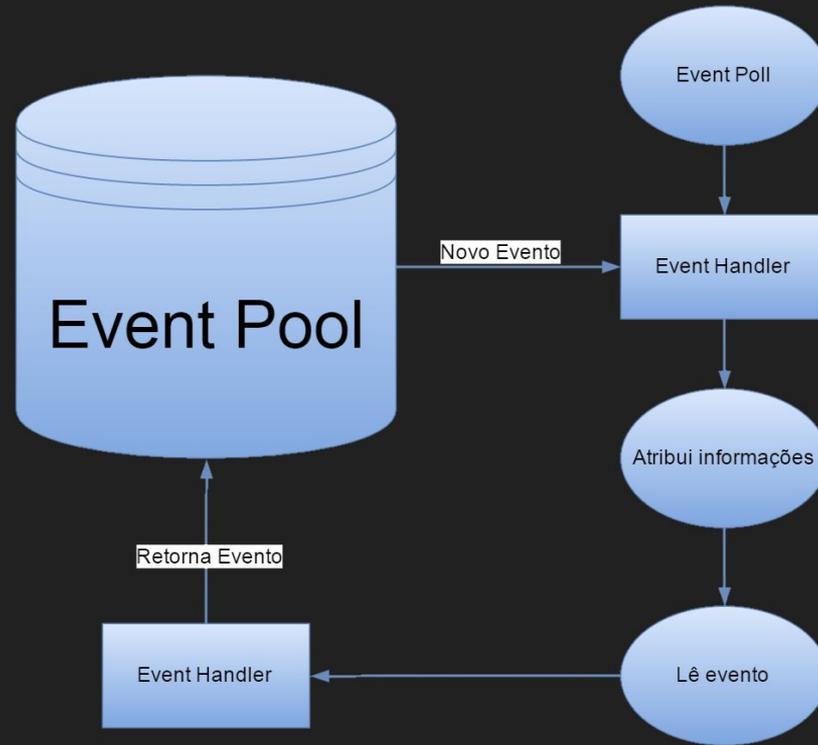


7. Input

→ Event pool

- ◆ Pool ≠ Poll
- ◆ Parecido com thread pool, você cria uma piscina de objetos que representam eventos, para diminuir a quantidade de alocação toda vez que processar os eventos

7. Input



Dúvidas?



Referências



Referências

- [1] Jason Gregory-Game Engine Architecture-A K Peters (2009)
- [2] Game Coding Complete, Fourth Edition (2012) - Mike McShaffry, David Graham
- [3] David H. Eberly 3D Game Engine Architecture Engineering Real-Time Applications with Wild Magic The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology 2004
- [4] <http://gameprogrammingpatterns.com/>
- [5] <http://gafferongames.com/>
- [6] <http://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [7] <http://cowboyprogramming.com/2007/01/05/evolve-your-heirachy/>
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Software_design_pattern
- [9] <https://www.youtube.com/user/BSVino/videos>
- [10] <https://www.youtube.com/user/thebennybox/videos>
- [11] <https://www.youtube.com/user/GameEngineArchitects/videos>
- [12] <https://www.youtube.com/user/Cercopithecian/videos>
- [13] http://www.glfw.org/docs/latest/input_guide.html
- [14] <http://lazyfoo.net/tutorials/SDL/index.php>
- [15]
- [16]
- [17]