Motor de Jogos e Arquitetura

Arquitetura e game loop

Slides por:
Gustavo Ferreira Ceccon (gustavo.ceccon@usp.br)
Fabrício Guedes Faria (fabricio.guedes.faria@usp.br)

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

Objetivos

- ➔ Conceitos básicos de um motor de jogos
- ➔ Arquitetura e estruturas de um jogo
- ➔ Game loop
- ➔ Modelos de programação
- ➔ Mostrar exemplos na Unity

Índice

1. Introdução

1. Introdução

O que é um jogo (termos técnicos)?

1. Introdução

“Soft Real-Time Interactive Agent-Based Computer Simulation”

Jason Gregory, Arquitetura de Motor de Jogos

1. Introdução

- Computer Simulation
  - Simulação de um mundo virtual
  - Modelos matemáticos e físicos do mundo real
  - Modelos mais acurados devido a evolução dos algoritmos e poder computacional

Tom Clancy's The Division (2016)

Need for Speed (2015)

1. Introdução

- Interactive Agent-Based
  - Orientado a objetos/agentes, ou seja, tem características e comportamentos definidos
  - Jogo interativo, que reage ao comandos do jogador, caso contrário, seria um filme/animação

Detroit: Become Human (2018)

1. Introdução

- Real-Time
  - 60 FPS = 16.666666 ms
  - 30 FPS = 33.333333 ms
  - 24 FPS = 41.666666 ms
  - Alguns jogos a CPU pode ser o gargalo, em outros jogos, a GPU pode ser

The Witcher 3 (2015)

1. Introdução

- Soft System
  - Recuperável no caso de fps drop, uma perda de pacote (network), imprecisões de cálculos etc.
  - Ao contrário de Hard Systems, que podem ser sistemas críticos

1. Introdução

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

1. Introdução

- História breve
  - Arcades eram *hardware-specific* (1 jogo = 1 máquina)
  - Os primeiros consoles tinham um cartucho para cada jogo
  - Evoluiu para CDs, com maior capacidade de armazenamento
  - Ao poucos foram aproveitando código comum entre jogos similares (Quake e outros FPS, RAGE)
  - O mercado de engines começou a crescer (Unreal e Source)
  - Unity, Unreal 4, CryEngine - novos modelos de negócio (open-source, porcentagem de lucro, licença mensal)

1. Introdução

- O que oferece?
  - Interface com o programador e designer (editor)
  - Funções básicas como renderizar *mesh*, tocar sons, aplicar transformações etc., além de estruturas básicas que representam os objetos
  - Exportação para múltiplas plataformas

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
  - Interessante para empresas de jogos AAA

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

1. Introdução

- Desvantagens
  - Ficar preso à engine e o que ela oferece
  - Performance muitas vezes precisa ser trabalhada
  - Necessário se familiarizar com o funcionamento de uma ferramenta

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

- 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)
  - CryEngine (Crysis, Far Cry)

2. Arquitetura e Estrutura

2. Arquitetura e Estrutura

Tudo o que a engine já oferece a você:

Exemplo completo

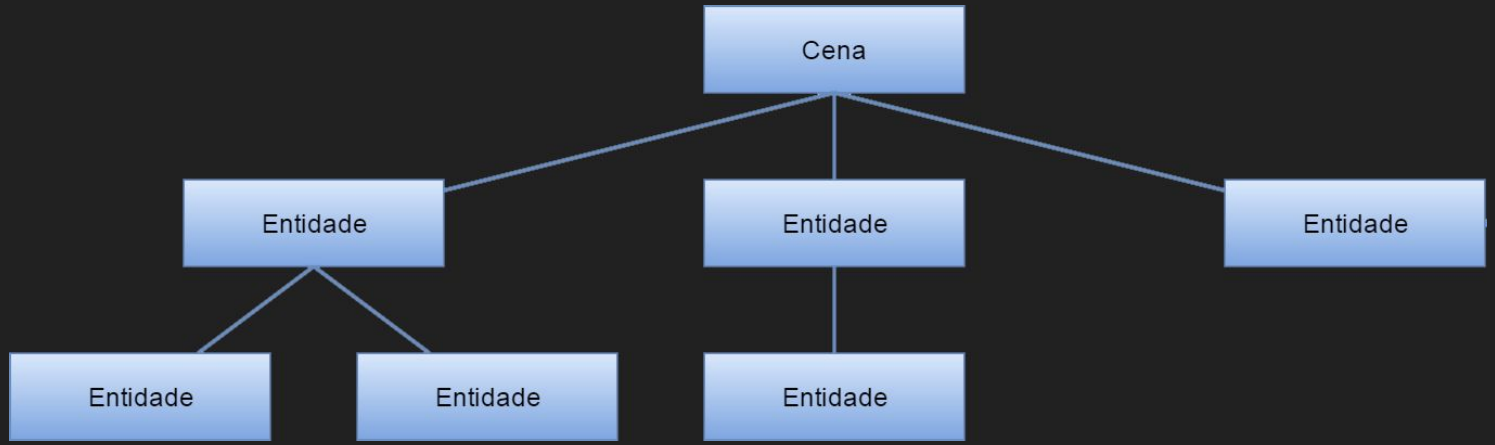
2. Arquitetura e Estrutura

- Estruturação geral da interface de uma engine
  - Game/World/Window - Simulação do jogo como seria na build final
  - Scene/Level - Área principal de montagem do jogo (níveis inteiros ou pedaços de mapa) e edição de objetos
  - Entity/Actor/Game Object - Qualquer elemento do jogo que possui um comportamento ativo

2. Arquitetura e Estrutura

- Hierarquia de uma cena 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

2. Arquitetura e Estrutura



3. Game Object

3. Game Object

- Programação imperativa
  - Simples e direto, sem muito problema na implementação
  - Eficiente, porque é mais próxima de linguagem de máquina
  - Uso de ponteiro de funções pode levar a bugs

3. Game Object

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

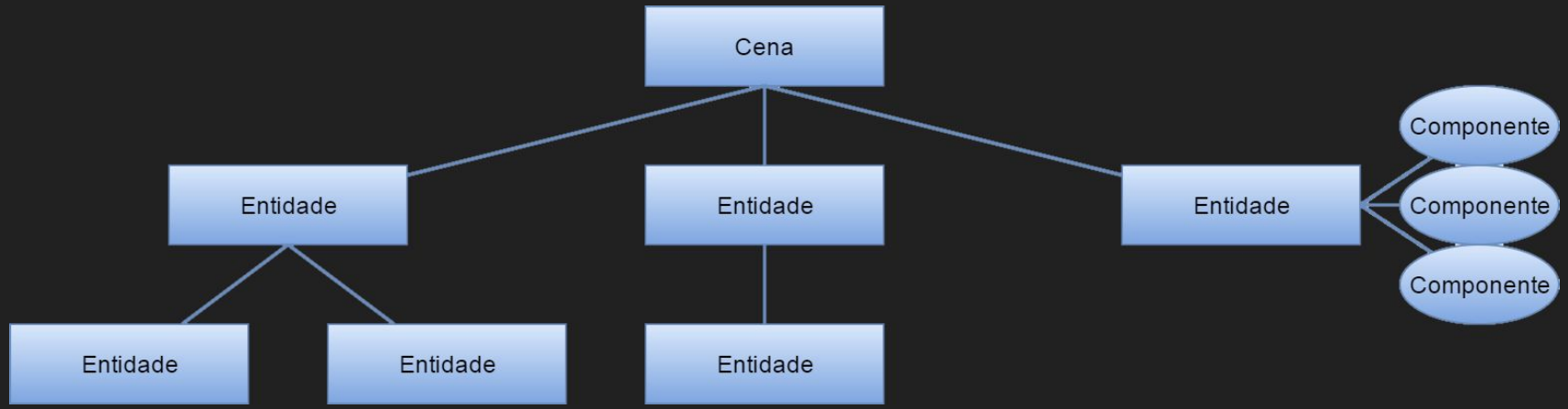
3. Game Object

- Composição (Componentes)
  - 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

3. Game Object

- Composição (Componentes)
  - 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
  - Nem sempre é trivial separar as funcionalidades
  - Pode ser overkill para jogos pequenos o suficiente

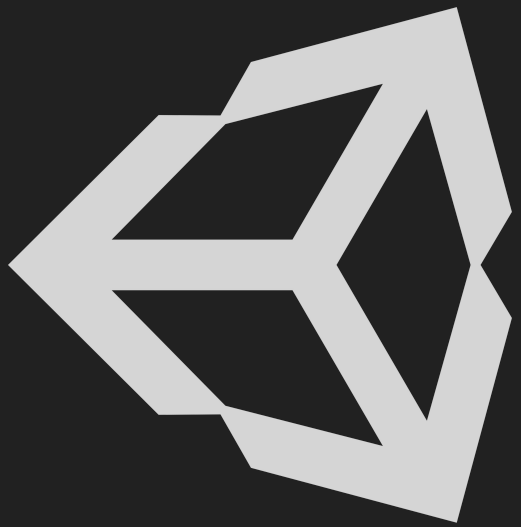
3. Game Object



3. Game Object

- Melhor de dois mundos (híbrido)
  - Usar pouca herança (árvore pequena) e o suficiente de composição (para as funcionalidades) para facilitar o desenvolvimento
  - Maior parte das engines usam

Introdução



4. Game Loop

4. Game Loop

- Jogos eletrônicos são simulações de um mundo virtual, além disso sabemos que eles são programas de tempo real
  - Precisamos processar toda informação e apresentá-la no menor tempo possível constantemente
- Frames Per Second (FPS) é uma medida de quantos quadros conseguimos renderizar por segundo, mas por baixo é muito mais que isso

4. Game Loop

- Temos que mostrar por volta de 24 – 48 fps, porém também temos que lidar com várias 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

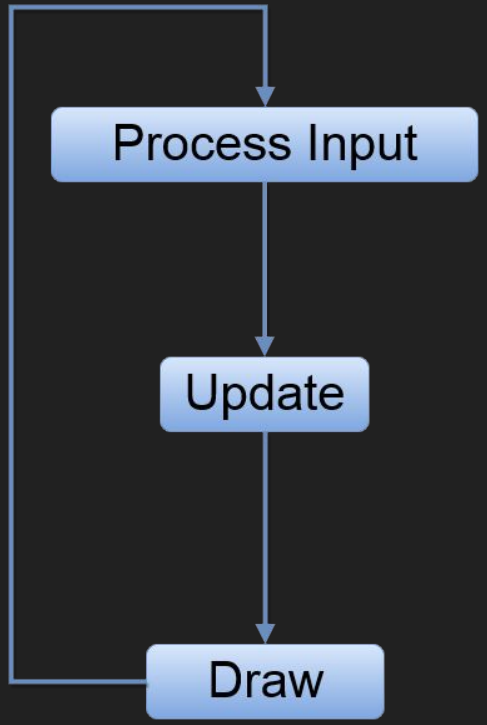
4. Game Loop

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

4. 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



Game Loop - Simples

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

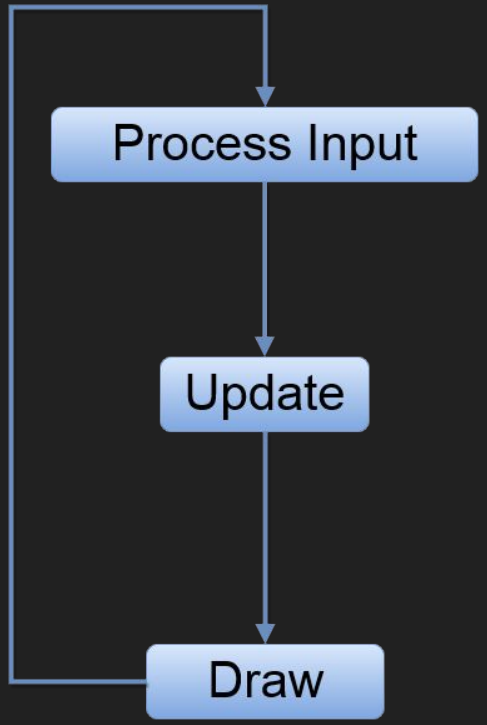
4. Game Loop

- Qual o problema com esse tipo de game loop?
  - Diferentes CPUs tem diferentes resultados
  - Por isso CPU-dependent
  - Exploits/glitches/bugs baseados em FPS muito alto ou muito baixo

4. 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*



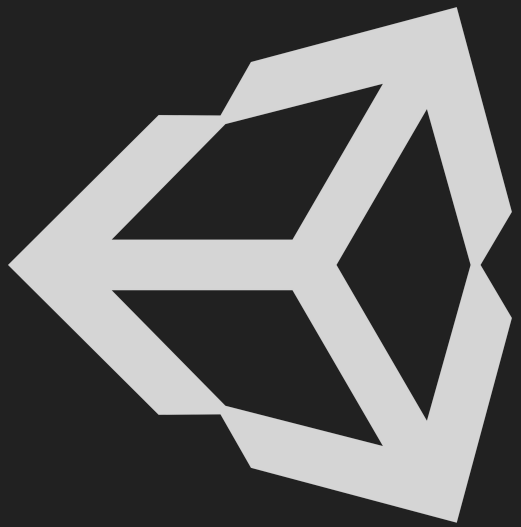
Game Loop - Simples com *dt*

```
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.
}
```

4. Game Loop

- Todas as CPUs teoricamente teriam comportamento igual
  - $x = x + v*\Delta t$
- Qual o problema com esse tipo de game loop?
  - Muito sensível a mudança de FPS
  - Imprecisão de cálculo

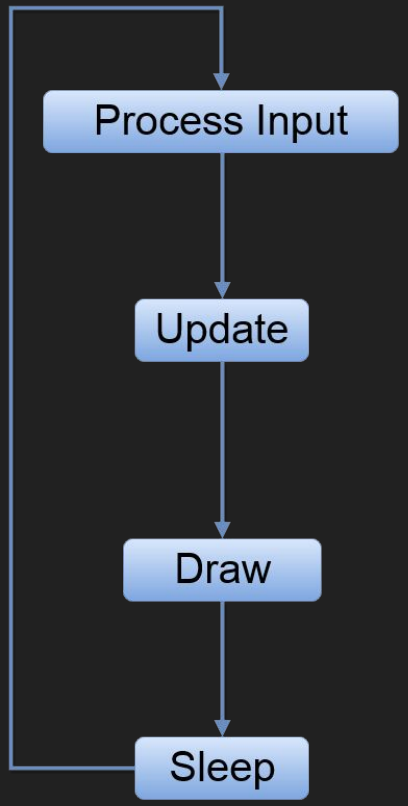
Introdução



4. 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

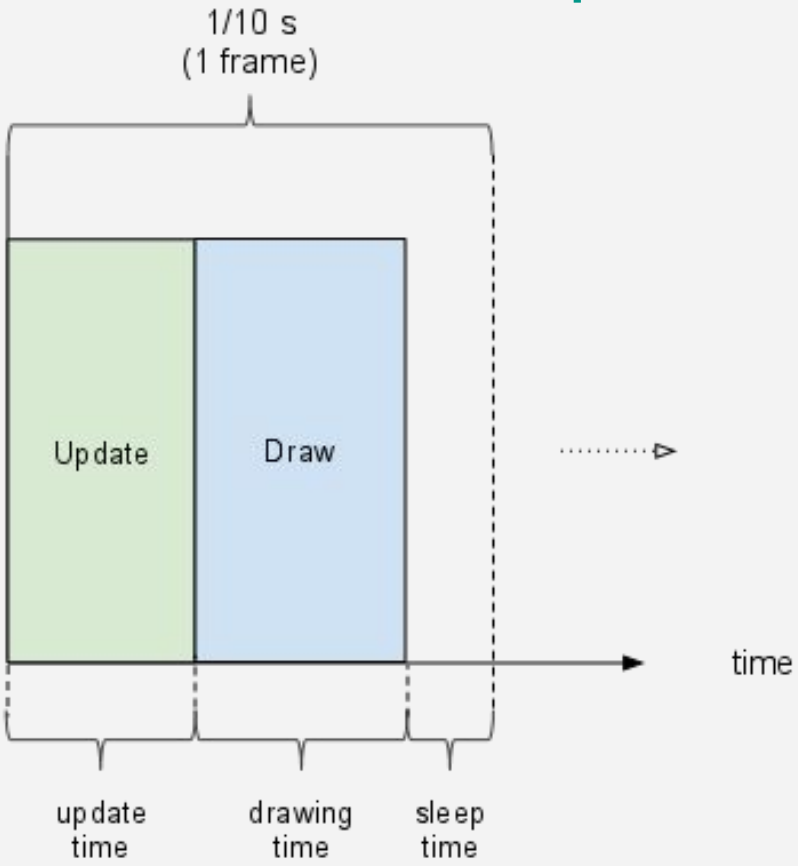
Game Loop - Simples com *dt* fixo



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.
}
```

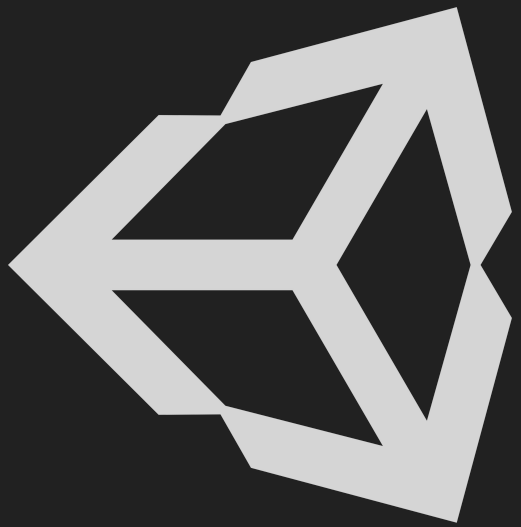
3. Game Loop


1/10 s
(1 frame)
Update
Draw
time
update
time
drawing
time
sleep
time

4. Game Loop

Exemplo Unity

Introdução



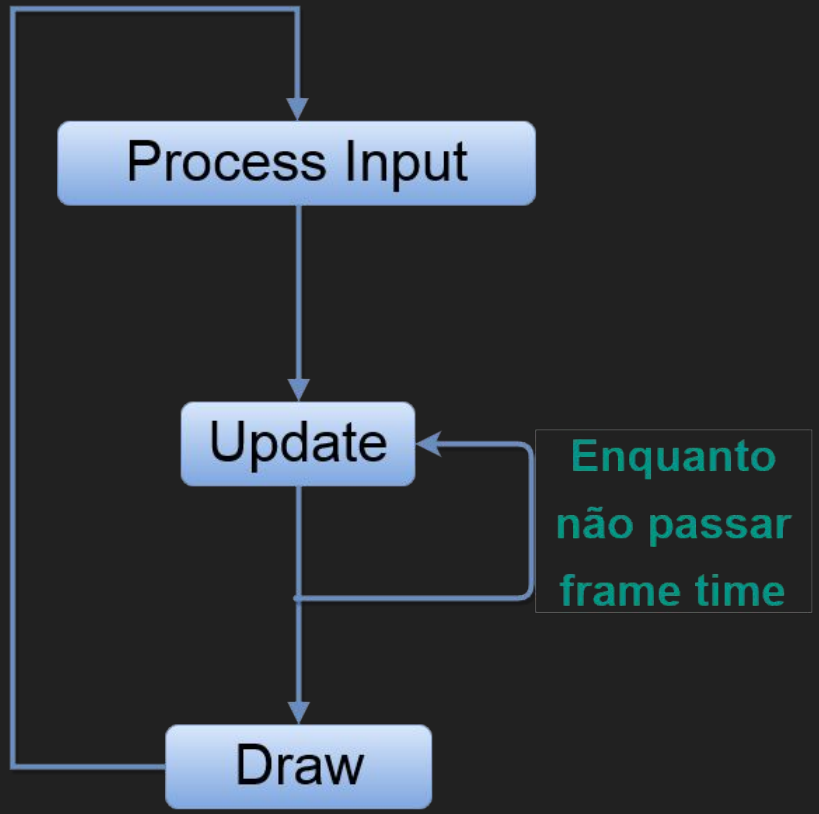
4. Game Loop

- 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

4. 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, atualizamos mais vezes e conseguimos resultados mais acurados

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();
}
```

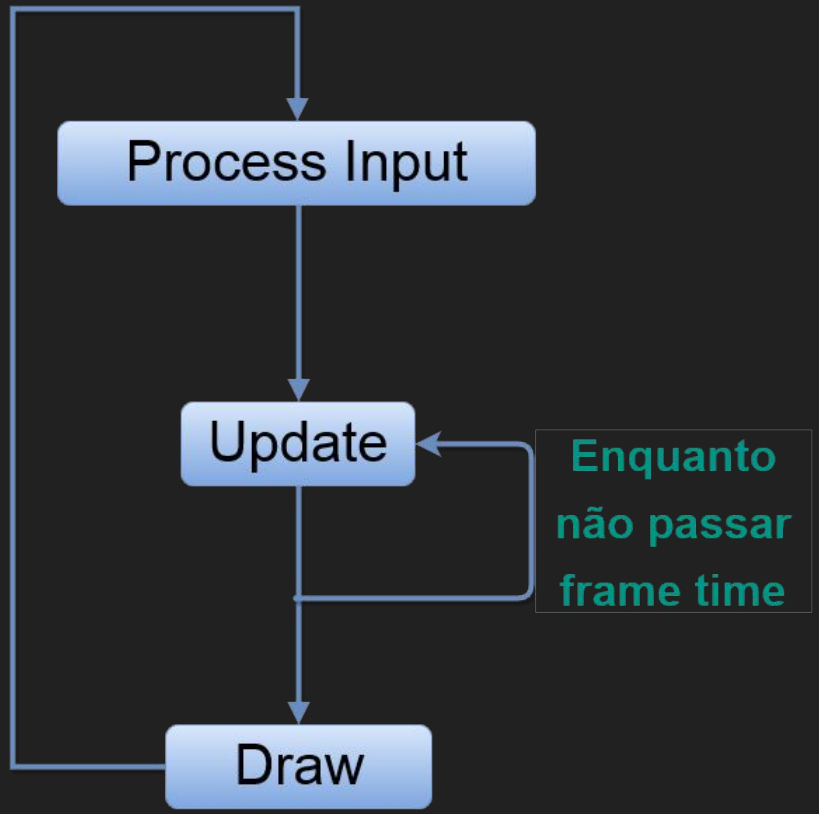
4. Game Loop

- 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

4. 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
  - $P' = (1 - \alpha)*P_0 + \alpha*P \quad = 0 <= \alpha <= 1$
- Extrapolação: interpolação entre um ponto conhecido e uma previsão

Game Loop - Catch-up com extrapolação



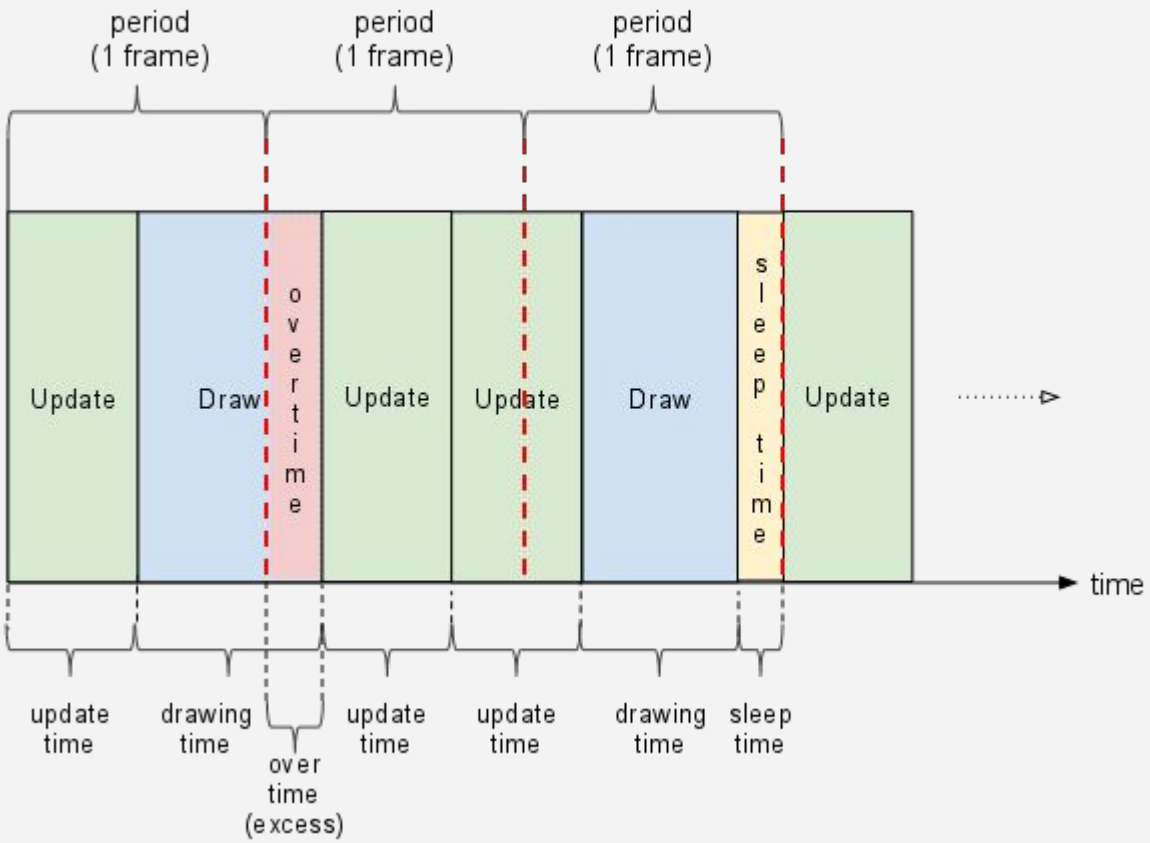
Game Loop - Catch-up com extrapolação

```
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;
}
```

4. 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

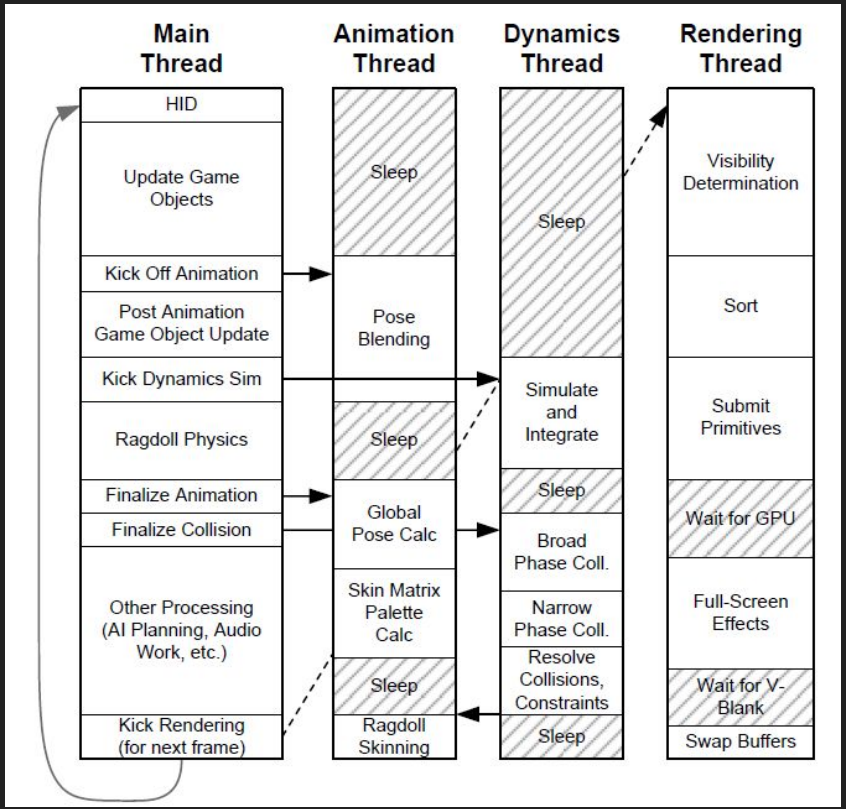
Frame Skipping



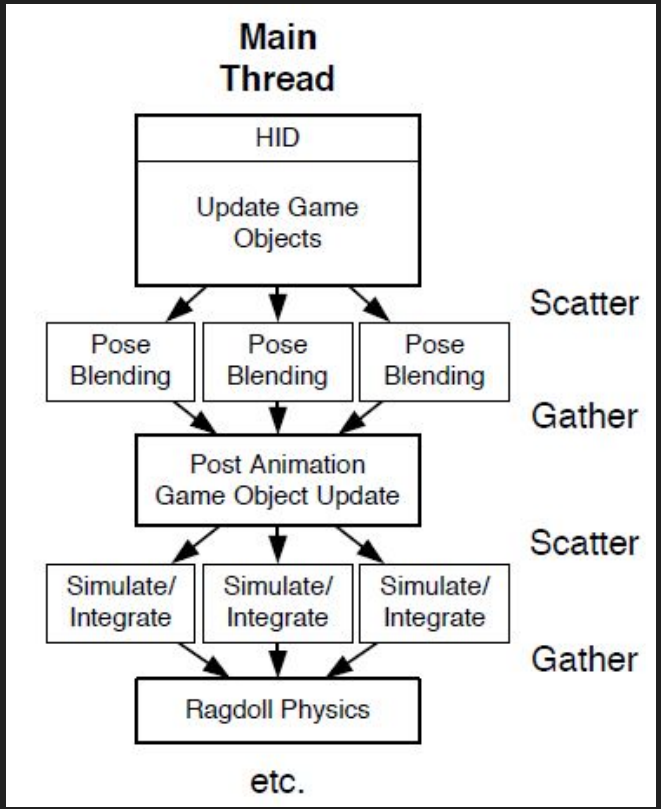
4. Game Loop

- Paralelismo: usando os núcleos da CPU e a GPU efetivamente
  - Task parallelism (paralelismo de tarefa)
    - Podemos paralelizar os sistemas, como física, gráficos, sons, IA etc.
    - Problema: dependência
  - Data parallelism (paralelismo de dados)
    - Podemos paralelizar dados para determinada tarefa
    - SIMD (Single Instruction, Multiple Data) para algumas CPUs
    - Scatter and Gather

4. Game Loop


Main Thread
Animation Thread
Dynamics Thread
Rendering Thread
HID
Update Game Objects
Kick Off Animation
Post Animation Game Object Update
Kick Dynamics Sim
Ragdoll Physics
Finalize Animation
Finalize Collision
Other Processing (AI Planning, Audio Work, etc.)
Kick Rendering (for next frame)
Sleep
Pose Blending
Sleep
Global Pose Calc
Skin Matrix Palette Calc
Sleep
Ragdoll Skinning
Sleep
Simulate and Integrate
Sleep
Broad Phase Coll.
Narrow Phase Coll.
Resolve Collisions, Constraints
Sleep
Visibility Determination
Sort
Submit Primitives
Wait for GPU
Full-Screen Effects
Wait for V-Blank
Swap Buffers

4. Game Loop


Main Thread
HID
Update Game Objects
Scatter
Pose Blending
Pose Blending
Pose Blending
Gather
Post Animation Game Object Update
Scatter
Simulate/ Integrate
Simulate/ Integrate
Simulate/ Integrate
Gather
Ragdoll Physics
etc.

4. Game Loop

- Problemas gerais
  - Mutex e outros blocks
  - Memória compartilhada
  - Núcleos vs. Threads
  - etc.

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/Cercopithecan/videos
[13] http://www.glfw.org/docs/latest/input_guide.html
[14] http://lazyfoo.net/tutorials/SDL/index.php
[15]
[16]
[17]