◆ 故事

三个月前，你拿到了梦寐以求的 **TakuGames** 公司的实习 **offer**。

成为一名游戏开发人员是你一直以来的梦想。你打算好好珍惜这次机会。

你下定决心，只身一人接下了公司中一个代号叫“破晓”的游戏项目。老板赞叹于你的勇气，认为若你有完成这个项目的能力，未来必将成为他的心膂股肱。你信心满满。

一路克服了数不清的难题，这个项目也日趋完善。终于，你在屏幕上的代码中看到了，破晓的曙光。你有一种预感，就是今天了——

但你实现的最后一项功能触发了你未曾察觉的巨大 **bug**，整个游戏都无法运行。已是深夜，你也越发烦躁。你在桌边备好一整壶咖啡用于提神，然后决定从最底层开始寻找 **bug** 的来源。

窗外已是破晓。当你终于重新看到游戏画面之后，你如释重负。从高度紧张的状态走出，你立刻倒在屏幕前睡了过去。

然而当你醒来时，你发现咖啡壶被你在睡梦中碰翻，咖啡全部洒进了桌下的机箱里。无法开机。你拆开机箱，拿出储存数据的硬盘，它的 **SATA** 接口处还能滴出几滴咖啡。你把它转接到笔记本电脑上，它已经无法被电脑识别。

你意识到你完全没有做任何离线/在线备份，你万念俱灰。愤怒涌入了你的头脑——你用几乎要把这只硬盘的外壳捏碎的力量，将它扔出了 **22** 楼的窗外。

突然，你想到还有公司的电脑：因为疫情，这一个月你一直居家办公。你连接到公司的电脑，这个项目的进度止步于一个月之前刚搭好的第一版游戏引擎。你从回收站里找到了第一版“破晓”的策划案和演示程序，因为你觉得能做得更好，当时立即否定了这一版。

还有希望，你对自己说。截止日期临近了，这是你的最后机会。你充满了决心。你再次打开了策划案，不由自主地默读了起来：

“代号‘破晓’（初版）是一款 **2D** 纵向卷轴飞行射击游戏，在游戏中，你将需要操控‘破晓号’飞船，保卫你的太空基地，抵挡外星飞船‘阿尔法号’‘西格玛号’‘欧米茄号’的入侵……”

◆ 20 多页？是不是疯了？

为了确保你们不会在打开这个作业说明的时候就被吓跑，我们在 **Piazza** 上发起了一次 **beta** 测试，并希望用 **beta** 测试的数据来告诉你们，这个项目有没有看起来那么吓人，难度如何，做完哪些部分要花多长时间。

第一次彻底读完本说明文档的时间为 **20** 分钟左右。在 **beta** 测试的 **6** 天之内，大部分参与 **beta** 测试的同学（即使没有给我们提供他们的代码进度作为反馈）都完成了 **HW8** 的部分。据反馈，完成 **HW8** 部分需要的时间分布在 **2–5** 小时。少部分同学开始了 **HW9** 的进度，花费了 **4–5** 小时，有些同学已经做出了功能完善的一版，也有些同学还留有少部分功能没有实现。

另外，在这个作业介绍的后半部分，每个游戏对象的细节说明里，我们故意做了很多不必要的

文字重复，导致这篇文档长达 20 多页。这是因为我们希望你能够从这些重复的内容里提取出不同对象之间的共同点与区分点，在自己的设计中将共同点写在共有的基类里，降低代码的冗余和错误率，而不是被我们用我们设计的结构来“教你做事”。

◆ 游戏是如何运作的

你所看到的不断刷新的游戏界面其实也是一个逐帧播放的视频。在游戏中，一帧(frame)的时长被称为一刻(tick)。一刻即为游戏内部的一个周期。在这个周期中，游戏中所有内容的状态都会被更新，然后再被显示到游戏界面上。理想状态下，我们希望游戏运行中每一刻(tick)的时间是恒定的，比如每秒 60 帧，但每一帧内不同的游戏内容可能会导致游戏以稍微不稳定的速率运行。

面向对象编程(OOP)的思想在游戏中被广泛应用。我们可以将这个游戏的所有组成成分（破晓号、蓝色子弹、敌人、道具，甚至还包括背景中的星星）都抽象成一个个“游戏对象”(GameObject)。既然成为了一个 C++中的对象，那么它便可以用成员变量(member variables)来储存属于自己的信息（比如所在的 x, y 坐标、剩余的 HP[1]等），也可以用成员函数(member functions)来定义自己应当做的行为（比如一架“西格玛号”如何飞行、或是一架“欧米茄号”如何决定在被击毁时掉落什么道具）。

我们刚刚提到过，在每一刻里，游戏的所有内容都会更新。在我们的游戏里，这一行为实现在了 Update()函数中。在一刻的时间中，我们可以让所有的游戏对象(GameObject)都执行一次 Update()函数。不同的对象对这个函数的内容需要各有实现：背景中的一颗星星可能只需要向下移动一个像素从而让画面看起来像是在运动，而破晓号需要确定向哪个方向移动或者是否要发射一枚子弹。

当所有游戏对象(GameObject)都进行了一次 Update()后，我们的游戏就应当把新的状态显示在屏幕上。原有的上一帧的游戏显示将会被清除，然后再根据每个游戏对象 Update()更新过的状态（比如移动后的所在位置），重新将所有游戏对象再画出来。在一次 Update()中，游戏对象通常不会移动太大的距离，从而使 Update 与显示不断循环下的游戏界面看起来像是平滑的动画。

我们的游戏中还存在独立的关卡。一个关卡的流程可以细分为以下三步：

- 初始化：当你开始新的一关时，游戏内的某些信息需要初始化，同时在关卡开始时也有一些游戏对象（比如你的破晓号）被添加进游戏。
- 游戏过程：即上面描述的 Update()与显示的不断循环。在这个过程中，可能有新的游戏对象加进游戏（如刚发出的子弹），也可能有已有的游戏对象被删除（被击毁的阿尔法号、飞出屏幕的子弹和星星等）
- 清理：当游戏过程中检测到玩家胜利或者失败，当前的关卡就会结束。这时，你需要首先对关卡进行清理：即删除关卡内所有的游戏对象，以免有动态分配的内存没有被释放。如果玩家在这一关卡中胜利，那么游戏会进入下一关卡的初始化环节。如果玩家失败但还有

[1] 实际上，HP 来源于 Hit Point 的缩写，而不是大家更广泛以为的 Health Point。历史上的很多简单游戏中，每受到一次打击，玩家就会减少一点 Hit Point，直至失去所有 HP 游戏结束。而随着 Hit Point 不再以一次一点为单位而开始细分，大家逐渐更认可 Health Point 的说法，正如我们也会将它叫做“生命值”或“血量”一样。

剩余的生命数，则会重新开始这一关（同样，从初始化开始）。如果玩家失去了所有的生命数，就显示游戏结束画面，然后退出游戏。

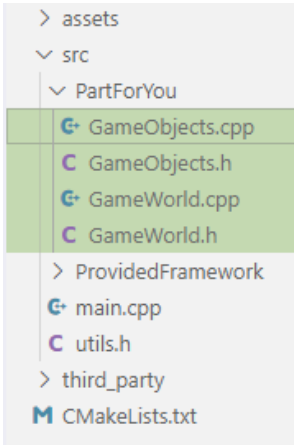
◆ 好的，所以这么多东西我怎么写？

在你开始之前，请允许我们率先提醒你：一定要经常保存备份！离线或在线都可以！如果你为了添加某一点功能使得整个程序崩溃或是在修复时越修越糟，简单地回退一版并比较可以快速解决问题。若没有保存备份，后果只能自负。

接下来的 16 页将包含在“破晓”中你需要实现的所有内容的细节说明。如果你现在就想打开你的项目，请先阅读一下附录中的“关于项目”。

可想而知，从零开始写出一个完整的游戏绝不是能一蹴而就的小工程。“破晓”中内容较多，需要逐步完成。因此，作业会将所有内容按推荐的实现顺序拆分为两个部分，分别作为 HW8 与 HW9。在以下的细节说明中，蓝色字体的项目表示推荐先实现，并且 HW8 中必须完成的部分，但这并不意味着黑色字体可以跳过。对本游戏的重要基础介绍同样为黑色字体。我们建议你先阅读完整的题目说明，对这个游戏基本了解，之后再开始写码。写码时则可以从蓝色字体部分开始逐步开工。有关于两次作业提交的更多细节，详见附录中的“提交”。

提供的所有文件的结构如图所示：



在这些文件之中，你只允许修改 **src/PartForYou** 路径下的四个文件。若通过修改其余部分（如提供的框架）代码实现了需要的功能，会无法正常通过评测。

◆ 在 GameWorld 类中管理你的游戏

GameWorld 类就是你的游戏世界的缩影。在你的游戏中，无论是开始或结束一个关卡、添加或删除一个游戏对象，还是处理游戏对象之间的互动（子弹打到敌方飞船），都在 **GameWorld** 类中完成。因此，**GameWorld** 类最重要的功能便是储存和管理游戏对象。

你的 **GameWorld** 类中需要有一个储存游戏对象的容器。你允许使用任何标准模板库(STL)容器，但我们非常建议你使用 `std::list`。它内部的链表结构使它适用于需要频繁地添加或删除的应用场景，同时 `std::list` 还支持在使用迭代器(iterator)遍历的同时添加或删除元素，游戏中某些步骤可能需要此功能。（例如，破晓号希望在 **GameWorld** 中创建一颗子弹）

游戏中的所有对象，无论属于什么类型，都必须放在这一个容器中。（所以，想想这个 std::list 内部的元素类型应该是什么？）并且，你的 **GameWorld** 中只能有这一个容器。只有一个对象例外，那就是你的“破晓号”。“破晓号”作为一个游戏对象，当然也可以放进这个容器里。但如果在实现本游戏的途中，基于你已经写出的设计，你认为如果将“破晓号”单独存储将会方便很多，那么，也允许你将代表“破晓号”的成员变量单独存储于 **GameWorld** 中，并且允许你使用“破晓号”真实的类型而不必与上述 std::list 中的其他元素类型相同。（如果你对下划线部分非常疑惑，这是正常且暂时的。在读完全部题目说明、设想好自己要写的结构、并且开始写自己的代码之后，你应该会忽然理解。）

此外，你的 **GameWorld** 可能还需要储存除游戏对象之外的其他数据。比如，在游戏开始时（不是关卡开始时！），你会获得三点生命数。每当你在一个关卡中失败，你就会失去一条生命，然后重新开始该关卡。失去最后一点生命数会导致游戏结束。有一些游戏数据我们已经在框架中替你存储在了 **GameWorld** 的基类 **WorldBase** 中，分别是当前关卡和游戏分数，你可以通过 **WorldBase** 中的访问函数和更改函数来获取或修改它们。

GameWorld 类继承自提供的框架中的 **WorldBase** 类。你不允许更改 **WorldBase** 类，并且你需要用到 **WorldBase** 类中提供的一些方法。

以下四个 **WorldBase** 类中的方法被定义为纯虚，故你的 **GameWorld** 必须提供定义。同时注意，这四个方法只允许被提供的游戏框架自动调用，而你所写的代码中不允许主动调用。

```
virtual void Init() = 0;
virtual LevelStatus Update() = 0;
virtual void CleanUp() = 0;
virtual bool IsGameOver() const = 0;
```

Init()函数即为关卡的初始化。每当一个关卡即将开始，游戏框架便会调用这个函数。在 **Init()**中，你需要做好一个关卡开始的准备：初始化你的游戏世界中任何用于记录关卡的数据，把你即将开始操控的“破晓号”放在屏幕上的正确位置，等等。细节实现见后文。

Update()函数便是游戏过程中每一刻(tick)对游戏世界的更新。在关卡开始后，此函数每一刻均会被框架调用一次（频率约为 **1** 秒 **60** 次，因为游戏期望以 **60** 帧每秒(FPS)运行）。游戏世界 **Update** 过后的运行状态将作为返回值传回游戏框架，以一个在**"utils.h"**中定义的枚举类型 **(enum class)**，**LevelStatus**。在 **GameWorld** 的 **Update()**中，需要执行的步骤大致分为这些（按重要程度排序而非实际应该执行的顺序，实际执行顺序见后文细节）：

- 让包括“破晓号”在内的所有游戏对象(GameObject)均进行 **Update()**。
- 检测关卡是否完成、是否失败。
- 为 **GameWorld** 添加新的游戏对象，例如新出现在星空背景中的星星、新生成的敌方飞船等。
- 删除 **GameWorld** 中应当被删除的对象，例如移动至屏幕显示范围外的星星、被击毁的敌方飞船等。
- 更新屏幕最下方显示的状态栏。

CleanUp()函数即为关卡结束时的清理步骤。当你的 Update 函数返回的状态表示当前关卡已经结束（完成与失败均视为结束），游戏框架就会调用此函数。你需要删除当前关卡中所有游戏对象，包括“破晓号”，以免出现内存泄漏。

IsGameOver()函数为游戏框架提供了判断是否游戏结束的“接口”。它非常简单：如果玩家失去了所有的三条生命，则返回 true。

请再次注意，上述四个函数均不允许被你所写的代码主动调用。

除此四个必须定义的纯虚函数外，你还可以为 GameWorld 自由添加新的成员变量、成员函数，或是调用基类 WorldBase 中提供的函数。

◆ 从 GameObject 基类开始创建每种游戏对象

你的 GameWorld 需要将所有游戏对象储存在同一个容器里，因此，只有让所有游戏对象都继承自同一个基类，才能利用多态(polymorphism)实现“在无需知道每个对象的具体类型的前提下让他们执行分化的操作”。你所需要的这个基类我们已经预先命名，叫做 GameObject。

GameObject 继承自游戏框架提供的更底层的基类 ObjectBase。你可能会想，为什么不直接把 ObjectBase 当作这个共同基类呢？实际上是出于设计的原因：我们希望把你需要完成的与游戏框架需要处理的事情清晰地划分开。如何将星星或者是“破晓号”的贴图显示在屏幕上不需要你去思考，而你是否选择“给你的游戏对象定义一个函数让它扣除 5 点 HP”当然也不是游戏框架运行所必需的。因此，除了下述的几个 ObjectBase 中定义的基本属性，如果你认为还有其他属性是所有游戏对象都必须具有的，就应当把它们定义在你的 GameObject 类中。ObjectBase 中的基本属性包括：

- imageID，表示这个对象对应的贴图素材编号。所有编号的定义在"utils.h"中。
  - imageID 在对象生成时即需确定，且之后不应被更改，故无修改函数(mutator)。
  - 由于 imageID 与每个对象的实际类型对应，而多态的思想不应使用对象实际类型的信息，故 imageID 不提供访问函数(accessor)。如果你在写你需要的某个功能是，想要“访问对象的 imageID”或做类似的事情，这是不正确的想法，你应当使用具有分化实现的虚函数(virtual functions)来判断某些对象属于哪些大种类。阅读附录中的面向对象编程(OOP)小建议可能可以帮助你更快找到好的写法。
- x 和 y，表示对象当前所在的坐标，以像素为单位。屏幕左下角为坐标系原点(0, 0)，向右为 x 轴正方向，向上为 y 轴正方向，屏幕最右上角的坐标为(WINDOW_WIDTH - 1, WINDOW_HEIGHT - 1)。具有访问函数 GetX()与 GetY()，以及同时更改 x 与 y 的修改函数 MoveTo(int x, int y)。
- direction，表示对象的旋转角度，顺时针，以精确到 1 度的角度制 int 值为单位，朝向正上方为 0。故 direction = 90 的对象应当显示为朝向右方，朝向下方的敌方飞船 direction 应为 180。具有访问函数 GetDirection()和修改函数 SetDirection(int direction)。
- layer，表示对象在屏幕上的显示层级，取值范围为[0, MAX_LAYER)。layer 数值更低的对象将在显示时遮盖高层级数值的对象，如破晓号位于 layer 0 而星星位于 layer 4，破晓号在显示时就会遮盖（作为背景的）星星。具有访问函数 GetLayer()。

- **size**，表示对象的显示大小，类型为 **double**。具有访问函数 **GetSize()**和修改函数 **SetSize(double size)**。

上述五个属性同时也是 **ObjectBase** 的构造函数需要提供的参数。因为 **ObjectBase** 不允许默认构造，所以在你的 **GameObject** 及其他子类的构造中，需要以初始化列表**(initializing list)**的方式为其中的基类 **ObjectBase** 提供这些参数。

- “那如果我的 **GameObject** 类是一个抽象类，无法在构造时确定自己的这五个属性的值， 该怎么提供给 **ObjectBase** 呢？”提示：你可以将无法确定的部分放在抽象类的构造函数里，继续向下传给具体的子类。当子类有了确定的属性值时（比如，一颗星星确定了它的 **imageID**），再通过一层层调用基类构造函数逐级传回最底层的 **ObjectBase**。

此外，**ObjectBase** 不允许拷贝构造**(copy-construct)**，不允许拷贝赋值**(copy-assign)**。要直观地解释的话，管理游戏对象的权利应当只属于 **GameWorld**，而不能让任何对象都能轻易地复制自己或其他对象。

那么，恭喜你，看到这里，你已经将最复杂的架构部分读完了。接下来的部分则是 **GameWorld** 与每一个对象分别的行为细节。每一个具体的对象都应当是 **GameObject** 的子类，但无需直接继承——如果你发现“阿尔法号”、“西格玛号”和“欧米茄号”有很多共同点，试着写一个基类（可以叫 **Enemy** 或者 **Alien**），将他们的共同点包括在内；如果你打算把蓝色子弹和红色子弹放在一个共同基类里（假设它叫 **Projectile**），同时又需要区分它们，那就在共同基类（不一定是 **Projectile**，你更可能发现需要在 **GameObject**）里加入一个虚方法**(virtual function)**，让两种对象对它的实现不同从而区分开来。一种简单的想法可以是使用一个叫做 **IsEnemy()**或者 **IsRed()**的方法区分敌我。

◆ GameWorld

◆ GameWorld::Init()

你的 **GameWorld::Init()**函数必须：

- 初始化任何用于记录关卡数据的成员变量。
- 在**(x = 300, y = 100)**处创建一只全新的“破晓号”。
- 在场景中生成 **30** 颗星星，每个：
  - x 坐标为**[0, WINDOW_WIDTH - 1]**区间内的一个随机 **int**。
  - y 坐标为**[0, WINDOW_HEIGHT - 1]**区间内的一个随机 **int**。
  - **size** 为**[0.10, 0.40]**区间内，精确到小数点后两位的一个随机 **double**。

"utils.h"中提供了生成闭区间内随机整数的 **randInt** 函数。那么如何生成一个随机 **double** 呢？既然只需要精确到小数点后两位……

◆ GameWorld::Update()

你的 **GameWorld::Update()**函数必须：

1. 为 **GameWorld** 生成新的星空背景。以 **1/30** 的概率在屏幕顶端随机位置生成一颗星星，它的：

- x 坐标为[0, WINDOW_WIDTH - 1]区间内的一个随机 int。
- y 坐标为 WINDOW_HEIGHT - 1。
- size 为[0.10, 0.40]区间内，精确到小数点后两位的一个随机 double。

2. 为 GameWorld 生成新的敌机。策略如下：
   - 当前关卡记为 level。
   - 过关所需击毁的敌机数量为 required = 3 * level。
   - 已击毁敌机数量记为 destroyed，
     则还需击毁的敌机数量为 toDestroy = required - destroyed。
   - 关卡允许屏幕上最多存在的敌机数量为
     maxOnScreen = $\left\lfloor \frac{(5+level)}{2} \right\rfloor$，其中$\lfloor x \rfloor$意义为 x 向下取整。
   - 考虑过关条件的最多允许敌机数量为
     allowed = min(toDestroy, maxOnScreen)。
   - 当前屏幕上的敌机数量记为 onScreen。若 onScreen < allowed，
     则以(allowed - onScreen)%的概率在屏幕顶端随机位置生成一架敌机。
     - 简单的验算：第 1 关游戏开始时的第一次 Update()中，生成敌机的概率为 3%。
3. 若在上一步中确定生成敌机，则需要进一步随机决定此敌机的种类，策略如下：
   - 令 P1 = 6，
     P2 = 2 * max(level - 1, 0)，
     P3 = 3 * max(level - 2, 0)， 则：
   - 有 P1 / (P1 + P2 + P3)的概率，生成的敌机为一架 HP 为 20 + 2 * level，
     攻击力为 4 + level，移动速度为 2 + $\left\lfloor \frac{level}{5} \right\rfloor$的“阿尔法号”(Alphatron)。
   - 有 P2 / (P1 + P2 + P3)的概率，生成的敌机为一架 HP 为 25 + 5 * level，
     移动速度为 2 + $\left\lfloor \frac{level}{5} \right\rfloor$的“西格玛号”(Sigmatron)。
   - 剩余的 P3 / (P1 + P2 + P3)的概率，敌机为一架 HP 为 20 + level，攻击力为
     2 + 2 * level，移动速度为 3 + $\left\lfloor \frac{level}{4} \right\rfloor$的“欧米茄号”(Omegatron)。
     - 简单的验算：在第 4 关中，生成三种敌机的概率相等。
   - 敌机的生成位置为屏幕顶端随机位置，即 x 坐标为[0, WINDOW_WIDTH - 1]区间内的一个随机 int，y 坐标为 WINDOW_HEIGHT - 1。
     - 当你心里在抱怨“好麻烦”的时候，你又在骂数值策划了。果然，无论在什么游戏里，策划都会挨骂……
4. 遍历所有游戏对象(GameObject)，并依次调用它们的 Update()函数。
5. 检测关卡是否失败（破晓号被击毁），若失败，则扣减一点生命数，并返回 LevelStatus::DAWNBREAKER_DESTROYED。
6. 检测关卡是否胜利（是否已经消灭了(3 * level)架敌机），若胜利则前进一关，并返回 LevelStatus::LEVEL_CLEARED。你无需修改当前关卡数，我们的游戏框架会帮你将 WorldBase 中的关卡设为下一关。

- ◆ 失败的判定顺序先于胜利。如果破晓号与最后一架敌机同时被击毁，视为关卡失败。

7. 再次遍历所有游戏对象，将需要删除的对象从你的存储容器中移除。
8. 根据破晓号的状态和关卡状态，显示底部的状态栏。
    - ◆ 需要显示的内容为：（以下 X 代表一个整数，每两项之间需要有 3 个空格）

HP: X/100 Meteors: X Lives: X Level: X Enemies: X/X Score: X

- ◆ **GameWorld::CleanUp()**

  你的 GameWorld::CleanUp()函数必须删除所有游戏对象。若你选择将“破晓号”单独存储，请记得将其一并删除。

◆ 破晓号(Dawnbreaker)

- ◆ **当被创建时**
  - 破晓号的贴图编号为 IMGID_DAWNBREAKER。
  - 破晓号的起始位置一定为(x = 300, y = 100)。
  - 破晓号的朝向为 0。
  - 破晓号的所在层级为 0。
  - 破晓号的大小为 1.0。
  - 破晓号初始具有 100 点 HP。
  - 破晓号初始具有 10 点能量。
- ◆ **当 Update()时**

1. 破晓号需要检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 破晓号需要根据玩家按下的按键进行相应操作。

   a) 如果玩家的 KeyCode::UP（DOWN, LEFT, RIGHT 同理）处于按下状态，破晓号需要尝试向对应的方向移动 4 像素。若此移动会使破晓号超出活动范围，则不移动。活动范围为 x:[0, WINDOW_WIDTH – 1], y:[50, WINDOW_HEIGHT – 1]。y 坐标的下限为 50 是为了给下方的状态栏留出位置。请注意玩家可以同时按下多个方向键，破晓号也需要能够斜方向移动。

   b) 如果玩家的 KeyCode::FIRE1 处于按下状态，破晓号需要尝试发射一枚子弹。发射子弹需要消耗 10 点能量，所以能量不足 10 点则无法发射。若能量足够，则消耗 10 点能量，并需要在自身(x,y)坐标正上方 50 像素位置生成一颗子弹。子弹的攻击力为 5+3*[升级次数]，大小为 0.5+0.1*[升级次数]。

   c) （需要使用 GetKeyDown 而非 GetKey）如果玩家按下一次 KeyCode::FIRE2，破晓号需要尝试发射一枚陨石。发射陨石需要消耗一个陨石道具，若破晓号没有获得过陨石道具则无法发射。发射时，消耗一个陨石道具，在自身(x,y)坐标正上方 100 像素位置生成一颗陨石。陨石的攻击力和大小固定，不受破晓号升级影响。

- 关于获取按键：
  因为“破晓”是一个实时游戏，我们不能用简单的控制台输入（**cin**、**scanf** 等）来暂停从而等待用户输入。因此，**GameWorld** 中为你实现了 **GetKey(KeyCode key)** 函数，用来确认某个按键是否处于按下状态。（实际函数在 **GameWorld** 的基类 **WorldBase** 中。）这也就意味着，为了获取输入，你的破晓号需要保存某些信息用于找到它所在的世界**(GameWorld)**。事实上，不只是出于输入，有可能其他对象的某些行为也需要找到所在的世界。想一想，这个信息需要保存在哪里，储存它的变量类型又应当是什么呢？
  另外一个获取按键输入的函数是 **GetKeyDown(KeyCode key)**，它用于确认你是否按下了某个按键，并且仅生效一次。发射陨石需要使用 **GetKeyDown** 而不是 **GetKey**，因为就算你很快速地敲击键盘，按键被按下的时间可能也持续了 **2** 帧或好几帧。如果你的破晓号存有多个陨石道具，会发生一次按键把所有陨石都发射出去了的意外结果。

3. 若破晓号的能量不足 **10** 点，则回复 **1** 点能量。

- **当发生碰撞时**

破晓号可能与敌方飞行物（红色子弹）或敌方飞船发生碰撞。当发生碰撞时，破晓号会受到伤害，伤害量与碰撞另一方的种类有关：一架敌方飞船会固定对破晓号造成 **20** 点伤害，而红色子弹对破晓号造成的伤害则取决于对方飞船的攻击力。关于碰撞的判断条件，请参考附录中的“碰撞处理”。

你需要把撞到破晓号的敌方飞行物（子弹）标记为“死亡”、“已摧毁”或类似的状态（也就是在 **Update()**的第一步中需要检查的状态）。如果你不喜欢“贴标签”，说不定也可以想到用其他属性来表示这一状态的方法。我们标记“死亡”状态是为了让 **GameWorld** 删除该对象，而破晓号或任何其他对象都不能，且没有权利，自己进行对象的清理。

敌方飞船在破晓号面前一碰就碎，所以如果和破晓号相撞，他们会立刻视为被击毁：在类似地需要被标记为“死亡”或类似状态的同时，还会触发敌方飞船被击毁时的效果，如获得分数、掉落道具等，详见下文。

此外，破晓号还可能与敌机掉落的道具发生碰撞。此碰撞不会伤害破晓号，而破晓号会获得该道具的效果。

你可能会好奇，为什么破晓号不去自己检测移动后有没有撞上敌人？事实上，加入这样的检测确实是更严谨的，并且有助于和其余对象的 **Update()**方式保持一致。然而，破晓号作为你（很可能）实现的第一个类，加入突兀的碰撞检测可能会让你毫无头绪。因此，我们将碰撞检测全部交给飞行物与敌机。

星星(Star)

- **当被创建时**

  - 星星的贴图编号为 **IMGID_STAR**。
  - 星星的起始位置并不固定，而由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。

- 星星的朝向为 0。
- 星星的所在层级为 4。
- 星星的大小并不固定，而由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。

◆ **当 Update()时**

1. 若星星的所在位置在屏幕下边界以外(y<0)，则这颗星星需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 星星需要向下移动 1 像素。

◆ 爆炸(Explosion)

◆ **当被创建时**

- 爆炸的贴图编号为 IMGID_EXPLOSION。
- 爆炸的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 爆炸的朝向为 0.
- 爆炸的所在层级为 3。
- 爆炸的起始大小为 4.5。(巨大!)
- 爆炸需要在 20 刻(tick)后消失。

◆ **当 Update()时**

1. 爆炸需要将自己的大小减小 0.2。
2. 若这是第 20 次 Update()，则将这个爆炸的状态标记为“死亡”，等待清理。

◆ 蓝色子弹(Blue Bullet)

◆ **当被创建时**

- 蓝色子弹的贴图编号为 IMGID_BLUE_BULLET。
- 蓝色子弹的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 蓝色子弹的朝向为 0。
- 蓝色子弹的所在层级为 1。
- 蓝色子弹的大小由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 蓝色子弹造成的伤害由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。

◆ **当 Update()时**

1. 蓝色子弹需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。

2. 若蓝色子弹当前所在位置在屏幕上边界以外(y >= WINDOW_HEIGHT)，则这颗子弹需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。

3. 蓝色子弹需要第一次检查自己是否正在与一只敌机发生碰撞。若发生碰撞：

   a) 目标敌机将会受到等于蓝色子弹创建时定义的伤害值的 HP 伤害。若此伤害击毁了敌机，需要将敌机标记为“已击毁”，并触发相应的效果。

   b) 然后，将自己标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态或以其他方式表示。

   c) Update()立刻返回，无视下述步骤。

4. 蓝色子弹需要向上移动 6 像素。

5. 移动后，蓝色子弹需要第二次检查自己是否正在与一只敌机发生碰撞。若发生碰撞，则重复步骤 3 中的处理。

◆ 陨石(Meteor)

◆ 当被创建时

- 陨石的贴图编号为 IMGID_METEOR。
- 陨石的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 陨石的初始朝向为 0。
- 陨石的所在层级为 1。
- 陨石的大小为 2.0。

◆ 当 Update()时

1. 陨石需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。

2. 若陨石当前所在位置在屏幕上边界以外(y >= WINDOW_HEIGHT)，则这颗陨石需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。

3. 陨石需要第一次检查自己是否正在与一只敌机发生碰撞。若发生碰撞：

   a) 目标敌机将会立刻被击毁！

   b) 自己并不会被摧毁。

4. 陨石需要以较慢的速度一边旋转一边前进：

   a) 向上移动 2 像素。

   b) 顺时针旋转 5 度。

5. 移动后，陨石需要第二次检查自己是否正在与一只敌机发生碰撞。若发生碰撞，重复步骤 3 中的处理。

◆ 红色子弹(Red Bullet)

◆ **当被创建时**

- 红色子弹的贴图编号为 IMGID_RED_BULLET。
- 红色子弹的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 红色子弹的朝向由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 红色子弹的所在层级为 1。
- 红色子弹的大小为 0.5。
- 红色子弹造成的伤害由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。

◆ **当 Update()时**

1. 红色子弹需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若红色子弹当前所在位置在屏幕下边界以外(y<0)，则这颗红色子弹需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。红色子弹的 x 坐标在左右边界以外不需要导致红色子弹因此死亡。
3. 红色子弹需要第一次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞：
   a) 破晓号将会受到等于红色子弹创建时定义的伤害值的 HP 伤害。
   b) 然后，将自己标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态或以其他方式表示。
   c) Update()立刻返回，无视下述步骤。
4. 红色子弹可能有三种朝向，并需要沿自己的当前朝向前进：
   - 若红色子弹的朝向为 180（正下），则向下移动 6 像素。
   - 若红色子弹的朝向为 162（右下），则向下移动 6 像素并向右移动 2 像素。
   - 若红色子弹的朝向为 198（左下），则向下移动 6 像素并向左移动 2 像素。
5. 移动后，红色子弹需要第二次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞，重复步骤 3 中的处理。

◆ 阿尔法号(Alphatron)

◆ **当被创建时**

- 阿尔法号的贴图编号为 IMGID_ALPHATRON。
- 阿尔法号的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 阿尔法号的朝向为 180。
- 阿尔法号的所在层级为 0。
- 阿尔法号的大小为 1.0。
- 阿尔法号的 HP 由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。

- 阿尔法号的攻击力由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 阿尔法号的移动速度由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 阿尔法号具有 **25** 点能量。
- 阿尔法号起始不具有任何飞行策略。阿尔法号可以采用的飞行策略有“正下”“左下”“右下”三种。

◆ **当 Update()时：**

1. 阿尔法号需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 **GameWorld** 清理。它的 **Update()**应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若阿尔法号当前所在位置在屏幕下边界以外**(y<0)**，则它需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。此操作不等同于“击毁”，不会触发任何“被击毁”时的效果。此后，它的 **Update()**应当立刻返回，无视下述步骤。
3. 阿尔法号需要第一次检查自己是否正在与破晓号或破晓号发射的飞行物发生碰撞。若发生碰撞：
   a) 阿尔法号需要正确地受到伤害：若对方为蓝色子弹，则受到其伤害值的 **HP** 伤害；若对方为破晓号或陨石，则立刻被击毁。
   b) 阿尔法号需要正确地造成碰撞伤害：若对方为破晓号，则对其造成 **20** 点伤害；若对方为蓝色子弹，其应当被标记为死亡。
   c) 阿尔法号需要检查自己是否因本次伤害而被击毁。若被击毁，触发下述“被击毁时”效果，然后 **Update()**立刻返回，无视下述步骤。
   d) 若阿尔法号未被本次碰撞击毁，则本次 **Update()**继续执行。
4. 阿尔法号将尝试攻击破晓号飞船：
   ◆ 若破晓号飞船的 **x** 坐标与该阿尔法号飞船的 **x** 坐标之差的绝对值小于等于 **10**，阿尔法号将尝试向正下方发射一枚红色子弹：
   ◆ 发射红色子弹需要消耗 **25** 点能量。若阿尔法号的能量不足 **25** 点，则无法发射子弹并进入步骤 **5**。
   ◆ 由于阿尔法号设备老旧，发射子弹仅有 **25%**的概率成功，其余 **75%**概率发射失败，不会消耗能量，并进入步骤 **5**。
   ◆ 若发射成功，则消耗 **25** 点能量，并在阿尔法号的 **x,y** 坐标正下方 **50** 像素位置生成一颗红色子弹。该红色子弹的朝向为 **180**，能造成的伤害为阿尔法号攻击力。
5. 若阿尔法号能量不足 **25** 点，则回复 **1** 点能量。
6. 如果满足下述三个条件之一，阿尔法号需要立刻生成一个新的飞行策略：
   ◆ 当前飞行策略剩余时长为 **0**：
   在三个策略中等概率随机选择其一，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。
   ◆ 所在位置在屏幕左边界之外，即 **x < 0**：
   新策略为“右下”，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。
   ◆ 所在位置在屏幕右边界之外，即 **x >= WINDOW_WIDTH**：
   新策略为“左下”，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。

7. 阿尔法号减少 1 点飞行策略时长，并按自己当前策略移动：
    - 策略为“正下”：向下移动 X 像素，其中 X 为自身移动速度。
    - 策略为“左下”：向下移动 X 像素，向左移动 X 像素，其中 X 为自身移动速度。
    - 策略为“右下”：向下移动 X 像素，向右移动 X 像素，其中 X 为自身移动速度。
8. 最终，阿尔法号需要第二次检查自己是否正在与破晓号或破晓号发射的飞行物发生碰撞。若发生碰撞，则重复步骤 3 的处理。

- **当被击毁时**
    - 阿尔法号被击毁时，将会在原地（自身 x,y 坐标处）留下一个爆炸特效。
    - 阿尔法号被击毁时，需要通知 GameWorld，使玩家获得 50 分奖励，并且为本关的累计击毁敌机数量正确地计数。
    - 阿尔法号是落后的机型，故不能为我们掉落任何道具。

◆ 西格玛号(Sigmatron)

- **当被创建时**
    - 西格玛号的贴图编号为 IMGID_SIGMATRON。
    - 西格玛号的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
    - 西格玛号的朝向为 180。
    - 西格玛号的所在层级为 0。
    - 西格玛号的大小为 1.0。
    - 西格玛号的 HP 由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
    - 西格玛号无法发射子弹，故无需攻击力。
    - 西格玛号的移动速度由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
    - 西格玛号起始不具有任何飞行策略。西格玛号可以采用的飞行策略有“正下”“左下”“右下”三种。

- **当 Update()时：**

1. 西格玛号需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若西格玛号当前所在位置在屏幕下边界以外(y<0)，则它需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。此操作不等同于“击毁”，不会触发任何“被击毁”时的效果。此后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
3. 西格玛号需要第一次检查自己是否正在与破晓号或破晓号发射的飞行物发生碰撞。若发生碰撞：
    a) 西格玛号需要正确地受到伤害：若对方为蓝色子弹，则受到其伤害值的 HP 伤害；若对方为破晓号或陨石，则立刻被击毁。

b) 西格玛号需要正确地造成碰撞伤害：若对方为破晓号，则对其造成 **20** 点伤害；若对方为蓝色子弹，其应当被标记为死亡。

c) 西格玛号需要检查自己是否因本次伤害而被击毁。若被击毁，触发下述“被击毁时”效果，然后 **Update()**立刻返回，无视下述步骤。

d) 若西格玛号未被本次碰撞击毁，则本次 **Update()**继续执行。

4. 西格玛号将尝试对破晓号飞船进行自爆袭击：

   - 若破晓号飞船的 **x** 坐标与该西格玛号飞船的 **x** 坐标之差的绝对值小于等于 **10**，西格玛号将会将自己的飞行策略设定为“正下”，飞行策略剩余时长设定为 **WINDOW_HEIGHT**，移动速度加速至 **10**。
   - 换言之，西格玛号将开始高速向正下方冲撞，直到飞出屏幕！

5. 如果满足下述三个条件之一，西格玛号需要立刻生成一个新的飞行策略：

   - 当前飞行策略剩余时长为 **0**：
     在三个策略中等概率随机选择其一，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。
   - 所在位置在屏幕左边界之外，即 **x < 0**：
     新策略为“右下”，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。
   - 所在位置在屏幕右边界之外，即 **x >= WINDOW_WIDTH**：
     新策略为“左下”，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。

6. 西格玛号减少 **1** 点飞行策略时长，并按自己当前策略移动：

   - 策略为“正下”：向下移动 **X** 像素，其中 **X** 为自身移动速度。
   - 策略为“左下”：向下移动 **X** 像素，向左移动 **X** 像素，其中 **X** 为自身移动速度。
   - 策略为“右下”：向下移动 **X** 像素，向右移动 **X** 像素，其中 **X** 为自身移动速度。

7. 最终，西格玛号需要第二次检查自己是否正在与破晓号或破晓号发射的飞行物发生碰撞。若发生碰撞，则重复步骤 **3** 的处理。

- **当被击毁时**

  - 西格玛号被击毁时，将会在原地（自身 **x,y** 坐标处）留下一个爆炸特效。
  - 西格玛号被击毁时，需要通知 **GameWorld**，使玩家获得 **100** 分奖励，并且为本关的累计击毁敌机数量正确地计数。
  - 西格玛号用于自爆袭击，外壳坚固。因此，在被击毁时，西格玛号有 **20%**概率在原地（自身 **x,y** 坐标处）掉落一个 **HP** 回复道具。

◆ 欧米茄号(Omegatron)

- **当被创建时**

  - 欧米茄号的贴图编号为 **IMGID_OMEGATRON**。
  - 欧米茄号的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
  - 欧米茄号的朝向为 **180**。

- 欧米茄号的所在层级为 **0**。
- 欧米茄号的大小为 **1.0**。
- 欧米茄号的 **HP** 由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 欧米茄号的攻击力由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 欧米茄号的移动速度由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 欧米茄号具有 **50** 点能量。
- 欧米茄号起始不具有任何飞行策略。欧米茄号可以采用的飞行策略有“正下”“左下”“右下”三种。

◆ **当 Update()时：**

1. 欧米茄号需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 **GameWorld** 清理。它的 **Update()**应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若欧米茄号当前所在位置在屏幕下边界以外**(y<0)**，则它需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。此操作不等同于“击毁”，不会触发任何“被击毁”时的效果。此后，它的 **Update()**应当立刻返回，无视下述步骤。
3. 欧米茄号需要第一次检查自己是否正在与破晓号或破晓号发射的飞行物发生碰撞。若发生碰撞：
   a) 欧米茄号需要正确地受到伤害：若对方为蓝色子弹，则受到其伤害值的 **HP** 伤害；若对方为破晓号或陨石，则立刻被击毁。
   b) 欧米茄号需要正确地造成碰撞伤害：若对方为破晓号，则对其造成 **20** 点伤害；若对方为蓝色子弹，其应当被标记为死亡。
   c) 欧米茄号需要检查自己是否因本次伤害而被击毁。若被击毁，触发下述“被击毁时”效果，然后 **Update()**立刻返回，无视下述步骤。
   d) 若欧米茄号未被本次碰撞击毁，则本次 **Update()**继续执行。
4. 欧米茄号将尝试对破晓号飞船进行弹幕封锁：
   - ◆ 欧米茄号不需要确认是否与破晓号在同一直线上。
   - ◆ 欧米茄号一次发射两颗红色子弹，需要消耗 **50** 点能量。若欧米茄号的能量不足 **50** 点，则无法发射子弹并进入步骤 **5**。
   - ◆ 作为最先进的外星飞船，欧米茄号发射子弹成功率为 **100%**。若欧米茄号的能量足够，则消耗 **50** 点能量，并在欧米茄号的 **x,y** 坐标正下方 **50** 像素位置生成两颗红色子弹。两颗红色子弹的朝向分别为 **162** 和 **198**，能造成的伤害为欧米茄号攻击力。
5. 若欧米茄号能量不足 **50** 点，则回复 **1** 点能量。
6. 如果满足下述三个条件之一，欧米茄号需要立刻生成一个新的飞行策略：
   - ◆ 当前飞行策略剩余时长为 **0**：
     在三个策略中等概率随机选择其一，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。
   - ◆ 所在位置在屏幕左边界之外，即 **x < 0**：
     新策略为“右下”，新策略时长为**[10, 50]**之间的随机 **int**。

- 所在位置在屏幕右边界之外，即 x >= WINDOW_WIDTH：
  新策略为“左下”，新策略时长为[10, 50]之间的随机 int。

7. 欧米茄号减少 1 点飞行策略时长，并按自己当前策略移动：
   - 策略为“正下”：向下移动 X 像素，其中 X 为自身移动速度。
   - 策略为“左下”：向下移动 X 像素，向左移动 X 像素，其中 X 为自身移动速度。
   - 策略为“右下”：向下移动 X 像素，向右移动 X 像素，其中 X 为自身移动速度。
8. 最终，欧米茄号需要第二次检查自己是否正在与破晓号或破晓号发射的飞行物发生碰撞。若发生碰撞，则重复步骤 3 的处理。

- **当被击毁时**
  - 欧米茄号被击毁时，将会在原地（自身 x,y 坐标处）留下一个爆炸特效。
  - 欧米茄号被击毁时，需要通知 GameWorld，使玩家获得 200 分奖励，并且为本关的累计击毁敌机数量正确地计数。
  - 欧米茄号拥有先进的武器，可用于升级破晓号。此外，若欧米茄号恰好留下大型残骸，还可以用作陨石投向敌方飞船。因此，在被击毁时，欧米茄号有 40%概率在原地（自身 x,y 坐标处）掉落一个道具。该道具有 80%的概率为升级道具，有 20%的概率为陨石道具。

◆ HP 回复道具(HP Restore Goodie)

- **当被创建时**
  - HP 回复道具的贴图编号为 IMGID_HP_RESTORE_GOODIE。
  - HP 回复道具的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
  - HP 回复道具的朝向为 0。
  - HP 回复道具的所在层级为 2。
  - HP 回复道具的大小为 0.5。
- **当 Update()时**

1. HP 回复道具需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若 HP 回复道具当前所在位置在屏幕下边界以外(y<0)，则它需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
3. HP 回复道具需要第一次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞：
   a) 破晓号将会回复 50 点 HP。破晓号的 HP 不会超过 100 点的 HP 上限。
   b) HP 回复道具需要通知 GameWorld，使玩家获得 20 分奖励。
   c) 然后，将自己标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态或以其他方式表示。
   d) Update()立刻返回，无视下述步骤。

4. HP 回复道具会向下移动 2 像素。

5. 移动后，HP 回复道具需要第二次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞，重复步骤 3 中的处理。

◆ 升级道具(Power Up Goodie)

◆ 当被创建时

- 升级道具的贴图编号为 IMGID_POWERUP_GOODIE。
- 升级道具的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 升级道具的朝向为 0。
- 升级道具的所在层级为 2。
- 升级道具的大小为 0.5。

◆ 当 Update()时

1. 升级道具需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若升级道具当前所在位置在屏幕下边界以外(y<0)，则它需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
3. 升级道具需要第一次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞：
   a) 破晓号的武器将会在本关内提升一级：攻击力提升 3 点，发射的子弹大小提升 0.1。
   b) 升级道具需要通知 GameWorld，使玩家获得 20 分奖励。
   c) 然后，将自己标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态或以其他方式表示。
   d) Update()立刻返回，无视下述步骤。
4. 升级道具会向下移动 2 像素。
5. 移动后，升级道具需要第二次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞，重复步骤 3 中的处理。

◆ 陨石道具(Meteor Goodie)

◆ 当被创建时

- 陨石道具的贴图编号为 IMGID_METEOR_GOODIE。
- 陨石道具的起始位置由创建它的代码决定。因此，它的构造函数中必须包含此部分。
- 陨石道具的朝向为 0。
- 陨石道具的所在层级为 2。
- 陨石道具的大小为 0.5。

◆ 当 Update()时

1. 陨石道具需要首先检查自己是否已经死亡。若已经死亡，它将等待 GameWorld 清理。它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
2. 若陨石道具当前所在位置在屏幕下边界以外(y<0)，则它需要被标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态，或是用其他方式表示，以等待被删除。之后，它的 Update()应当立刻返回，无视下述步骤。
3. 陨石道具需要第一次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞：
   a) 破晓号将会在本关内获得一颗陨石，可以按 FIRE2('K'键或 Windows 下的左"Ctrl"键/MacOS 下的'Z'键)发射。
   b) 陨石道具需要通知 GameWorld，使玩家获得 20 分奖励。
   c) 然后，将自己标记为“死亡”、“已摧毁”等类似状态或以其他方式表示。
   d) Update()立刻返回，无视下述步骤。
4. 陨石道具会向下移动 2 像素。
5. 移动后，陨石道具需要第二次检查自己是否正在与破晓号发生碰撞。若发生碰撞，重复步骤 3 中的处理。

◆ 附录

◆ 碰撞处理

若两个对象的位置分别为(x1, y1)，(x2, y2)，大小分别为 s1 与 s2，则他们的距离为

$$d = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$

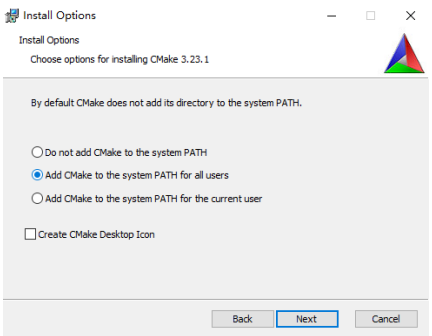
若 d < 30.0 * (s1 + s2)，则认为两对象发生碰撞。

◆ 关于项目

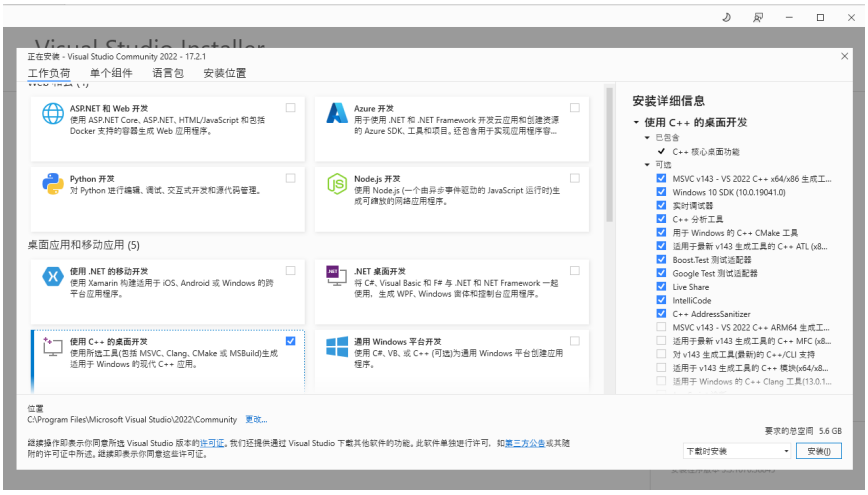
我们提供的文件是一个 CMake 项目。CMake 是一个跨平台生成工具，可以用同样的源文件在不同平台(Windows, MacOS, Linux)下生成项目。

◆ Windows 下首次运行

在 https://cmake.org/download/下载 CMake，选择 Windows x64 Installer。如果你希望（现在或以后）通过命令行使用 CMake，可以选择将添加到当前用户或所有用户的环境变量。

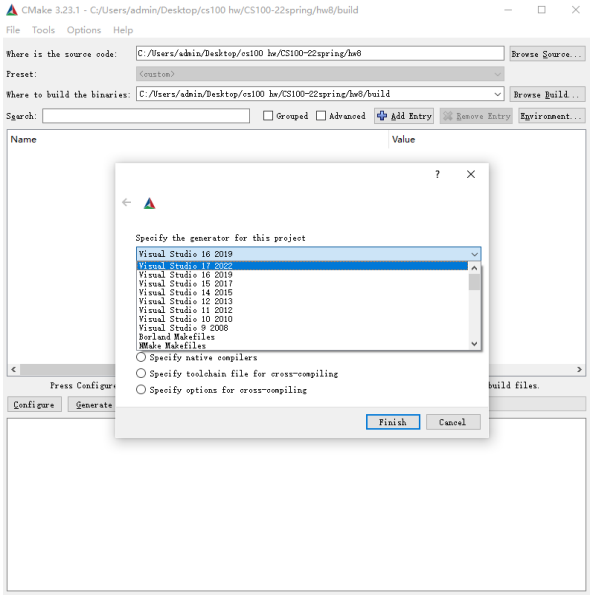


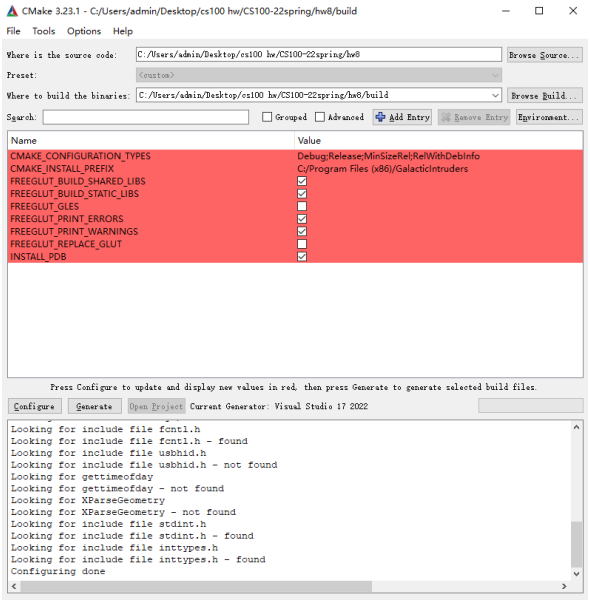
CMake 在 Windows 下的默认生成工具是 Visual Studio，生成的输出是一个 Visual Studio 工程文件(*.sln)。因此，如果你的电脑上没有安装 Visual Studio，请在 https://visualstudio.microsoft.com/下载，最新版本为 Community 2022。如果你已安装了 2019 或 2017 版，不必重新安装最新版。安装时，选择“使用 C++的桌面开发”。



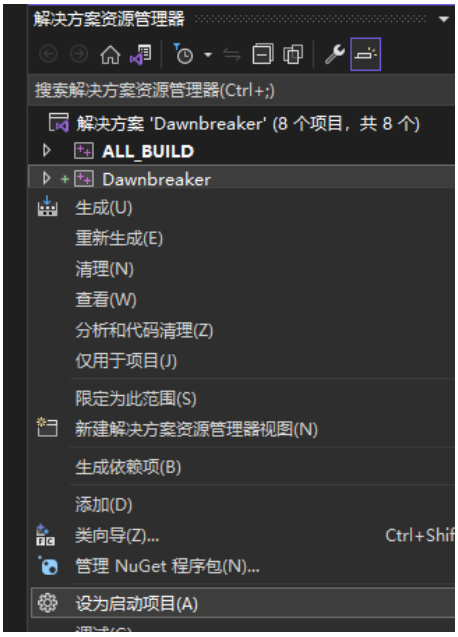
安装后，运行 **cmake-gui**，在 **Where is the source code** 中填写项目的路径（**CMakeLists.txt** 所在路径），在项目里新建**/build** 文件夹，并填入 **Where to build the libraries**，

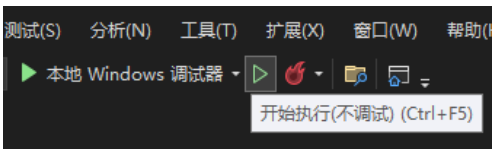
点击左下方 **Configure**。在下拉菜单中选择你的 **Visual Studio** 版本。设定完成后再依次点击 **Generate** 和 **Open Project** 打开 **Visual Studio** 项目。生成的这个项目为位于 **build** 目录下的 **Dawnbreaker.sln**，之后可以直接双击打开。





在右侧的解决方案资源管理器中右键点击含有"**main.cpp**"的项目"**Dawnbreaker**"，将它设为启动项目。单击右图所示按钮（仅 **2022** 版），或使用快捷键 **Ctrl+F5** 运行程序。如果你在代码编辑器中为你的程序中打了断点，其左侧的“本地 **Windows** 调试器”按钮（快捷键 **F5**）可以在 **debug** 模式下调试，还有逐语句/逐函数运行等用法。





◆ MacOS 下首次运行

- 命令行运行

前往 https://brew.sh/安装 homebrew，并终端输入“brew install cmake”。

首次运行在终端中打开游戏目录（该目录包含 assets，CMakeLists.txt，src 和 third_party）。输入以下命令创建 build 文件夹，并编译项目：

```
mkdir build && cd build
cmake .. && make -j
```

之后，在命令行中输入下面这行命令即可运行游戏：

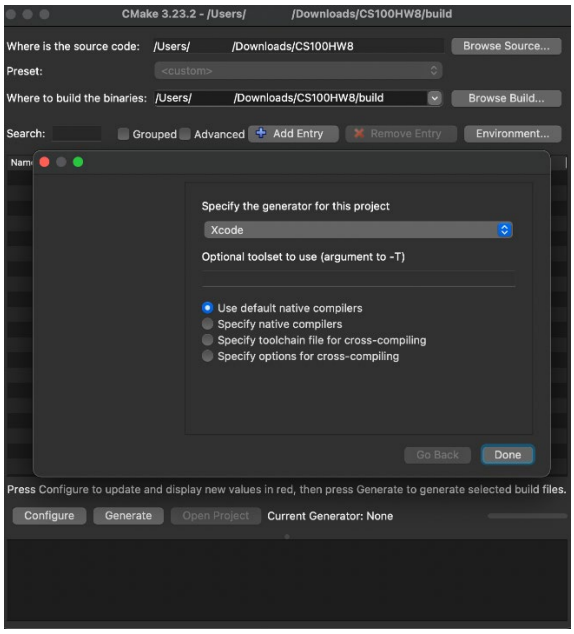
```
./bin/Dawnbreaker
```

每当你修改完你的代码，只要在 build 目录下输入"make -j"进行编译，并输入"./bin/Dawnbreaker"运行游戏即可。

- Xcode 运行

若希望使用具有图形化界面的 CMake 或使用 XCode 生成，可前往 https://cmake.org/download/安装 CMake。若亦希望将 CMake 用于命令行，可以执行安装后左上角菜单栏上“How to Install For Command Line Use”指令。

运行 cmake，在 Where is the source code 中填写项目的路径（CMakeLists.txt 所在路径），在项目里新建/build 文件夹，并填入 Where to build the libraries，点击左下方 Configure。在下拉菜单中选择 Xcode（仅测试过使用 Xcode，其他选项可自行尝试）。设定完成后再依次点击 Generate 和 Open Project。



- **面向对象编程(OOP)小建议**

在你设计你要写的对象的结构时，试着考虑一下接下来的几条小建议。这些建议不仅会帮助你写出更规范的面向对象程序，也会降低你在本次作业中出错的概率。“尽可能”遵从这些建议即可，不必过分拘泥于教条，在细枝末节、无关紧要的设计上纠结只会浪费精力。切记，纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。

1. 不要通过任何形式的类型转换来确认一个对象的类型，而应当添加成员函数来检测是否有某类型对象的通用性质或行为。同时，注意也不要为每种对象单独定义一个"IsSomeClass()"的方法，而应当用一种方法来检查多个对象的通用性质。例如：

   - 不要如此做：

   ```
   for (auto& item : familyMart) {
     if (dynamic_cast<CocaCola*>(item) != nullptr ||
         dynamic_cast<Pepsi*>(item) != nullptr ||
         dynamic_cast<Tea*>(item) != nullptr ||
       dynamic_cast<Milk*>(item) != nullptr) {
       me.Buy(item);
     }
   }
   ```

   - 也不要如此做：

   ```
   for (auto& item : familyMart) {
     if (IsCocaCola(item) || IsPepsi(item)
       || IsTea(item) || IsMilk(item)) {
       me.Buy(item);
     }
   }
   ```

   - 而应当如此做：

   ```
   for (auto& item : familyMart) {
     if (IsBeverage(item)) {
       me.Buy(item);
     }
   }
   ```

2. 不要将成员变量声明为 **public** 或 **protected**，而尽量都声明为 **private**。即使 **public** 的成员变量可以节省时间，也请尽量声明 **private** 变量。对于 **private** 的变量，可以选择是否提供 **public** 的访问函数与修改函数。

3. 如果某个成员方法只供自己或子类调用而不会被外部调用，那么可以将它声明为 **protected** 或 **private**。

4. 如果两个相关的子类都需要定义一个用法相同的成员变量，不要分别定义，而是将定义放在它们的公共基类里，并提供 **public** 的访问函数(Accessor)与修改函数(Mutator)。

5. 如果两个相关的子类都需要实现某个方法，而在此方法中既有相同的部分又有不同的部分，不要分别实现而将相同的部分重复一遍，而应当定义另一个 **virtual** 的辅助函数来将不同的部分区别开来。例如：

   - 不要如此做：

```
class SomeStudent : public Student {
public:
  virtual void DoSomething() {
    Eat();
    TakeClasses();
    GoToFamilyMart();
    Sleep();
  }
};

class OtherStudent : public Student {
public:
  virtual void DoSomething() {
    Eat();
    PlayGames();
    DoHomework();
    Sleep();
  }
};
```

- 而应当如此做：

```
class Student {
public:
  virtual void DoSomething() {
    Eat();
    DoDifferentStuff();
    Sleep();
  }
private:
  virtual void DoDifferentStuff() = 0;
};

class SomeStudent : public Student {
private:
  virtual void DoDifferentStuff() override {
    TakeClasses();
    GoToFamilyMart();
  }
};

class OtherStudent : public Student {
private:
  virtual void DoDifferentStuff() override {
    PlayGames();
    DoHomework();
  }
};
```

6. 在你的 **GameWorld** 中，不要将装有对象的 **List** 或 **List** 的 **iterator** 作为返回值或是 **public** 的部分。只有 **GameWorld** 才能访问和储存这些对象，而不能交与其他 **GameObject**。你应当让 **GameObject** 通知 **GameWorld**，来处理与自己和其他对象相关的请求。例如：

   - 不要如此做：

```
class FamilyMart {
public:
  std::list<Item*>& GetItems(); // Bad!
};

class Me : public Student {
public:
  void GoToFamilyMart() {
    for (auto& item : GetFamilyMart()->GetItems()) {
      if (IsMyFavorite(item)) {
        Buy(item);
      }
    }
  }
};
```

   - 而应当如此做：

```
class FamilyMart {
public:
  bool WantsToBuy(Student* student, Item* item);

  void GoShopping(Student* student) {
    for (auto& item : allItems) {
      if (WantsToBuy(student, item) {
        student->Buy(item);
      }
    }
  }
};

class Me : public Student {
public:
  void GoToFamilyMart() {
    GetFamilyMart()->GoShopping(this);
  }
};
```

- **提交**

  本次提交需要提交到 **Autolab** 而非 **OJ**，具体细节请等待我们在 **Piazza** 上的通知，届时我们也将同步更新本部分。

HW8（约占总进度的 30%）Deadline: 2022/06/06 23:59:59

对于 HW8 部分，你可以将所有代码写在/PartForYou/目录下提供的四个文件中。你需要提交的文件为一个.tar 压缩文件，内容包含根目录下的 CMakeLists.txt 和/PartForYou/文件夹。

在 HW8 提交结束之后，我们会提供一版示例的 HW8 实现。若你在 HW8 遇到了问题，你可以从这版实现开始继续完成 HW9；若你顺利通过了 HW8，也可以将我们的示例实现作为参考。

HW9（约占总进度的 70%）Deadline: 2022/06/20 23:59:59

对于 HW9 部分，你可能需要写出大量的代码。为了更好地管理自己的代码而不至于显得过于杂乱无章，我们要求你为每个对象创建单独的(.h 与.cpp)文件，将每个对象的源代码分开存放。

- 你的.h 头文件中必须有正确的 include guard：即，在任何一个或多个文件中 #include 你的任一头文件两次必须不能引发任何错误。
- 你的每个对象的(.h 与.cpp)文件中，必须只#include 必要的部分。例如，你的“陨石”对象应当与“升级道具”对象无任何联系，故他们之间不应相互#include。

在创建新的源代码文件时，你需要修改 CMakeLists.txt，将新的文件加入项目中。在修改 CMakeLists.txt 时，我们也要求你将对象分为大类别，为其分别创建 CMake 目标(targets)，并将你的目标生成为静态链接库(static libraries)。静态链接库是在 Windows 上的以.lib 为扩展名的文件，或在 MacOS/Linux 上以.a 为扩展名的文件。你可以参考我们提供的 CMakeLists.txt 中的写法，使用 add_library、target_link_libraries、target_include_directories 等指令创建你的 CMake 目标。

- 你需要将你的对象分为至少 4 种大类创建 CMake 目标。比如，可以将 GameObject 基类单独分为一类，然后再将“敌机类”、“飞行物类”、“道具类”等分别创建目标。
- 你创建的 CMake 目标之间可能会互相依赖。你需要正确地为每个目标指定需要链接的库与需要的 include 目录。即使某个文件（比如，“升级道具”的头文件）存在于你的一个目标（比如包含“陨石对象”的目标）的 include 目录下，如果你的目标不依赖该文件，就不应#include 它。

在提交时，你同样需要提交一个.tar 压缩文件，内容仍为你修改过的 CMakeLists.txt 文件与/src/。

◆ 致谢

感谢 Laurent Kneip 教授与许岚教授给予我为 CS100 出题的机会。

本项目的灵感来源和结构参考均为由 UCLA 的 Prof. Smallberg & Prof. Nachenberg 任教的课程 CS32 中某一年的作业 project。我由衷地感谢二位教授，通过这一 project 让我感受到了编程的快乐，对我在学习计算机和游戏开发的道路上的选择产生了深远的影响。这也是我设计这次 CS100 HW8&9 的初衷——希望将这份曾经传达给我的快乐以同样的方式传达给大家。

感谢其余几位助教的协助。

感谢曹松晖同学尝试使用硬核的纯 C 语言代码完成了本项目，并协助设计了示例程序中的彩蛋。

感谢吴天元同学协助了在 MacOS 上的编译。

感谢热心参与 beta 测试的所有同学们，无论你们是否提交了反馈。以下为提交反馈的同学：（以姓名汉语拼音顺序）

曹熠辉、陈峻生、贺云翔、任辉、张城、张亦驰、周宇轩

刘钰琦

谨代表 CS100 助教团队