13.支付系统的心脏：简洁而精妙的状态机设计与核心代码实现_V20240121

本篇主要讲清楚什么是状态机，简洁的状态机对支付系统的重要性，状态机设计常见误区，以及如何设计出简洁而精妙的状态机，核心的状态机代码实现等。

我前段时间面试一个工作过4年的同学竟然没有听过状态机。假如你没有听过状态机，或者你听过但没有写过，或者你是使用if else 或switch case来写状态机的代码实现，建议花点时间看看，一定会有不一样的收获。

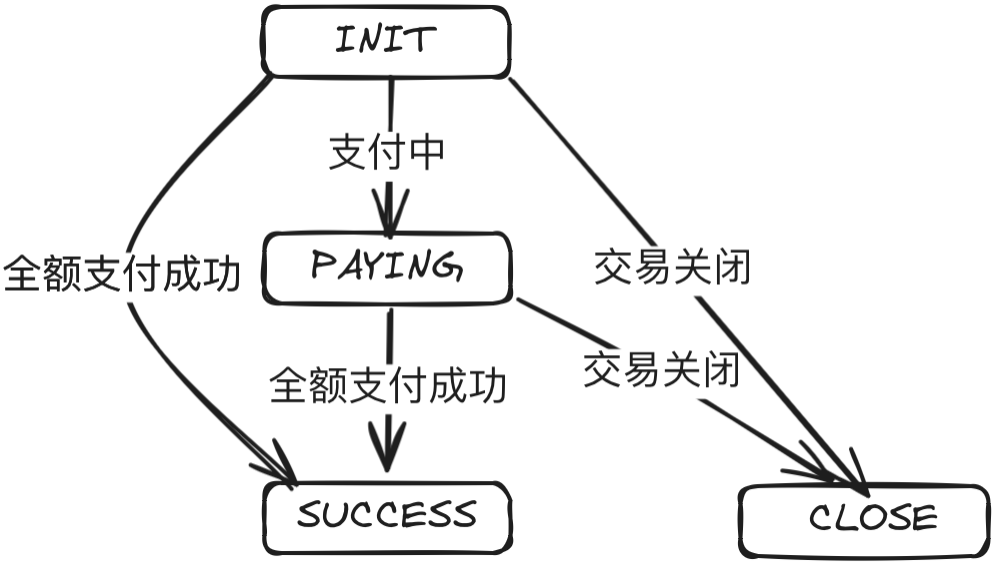
1. 前言

在线支付系统作为当今数字经济的基石，每年支撑几十万亿的交易规模，其稳定性至关重要。在这背后，是一种被誉为支付系统“心脏”的技术——状态机。本文将一步步介绍状态机的概念、其在支付系统中的重要性、设计原则、常见误区、最佳实践，以及一个实际的Java代码实现。

2. 什么是状态机

状态机，也称为有限状态机（FSM, Finite State Machine），是一种行为模型，由一组定义良好的状态、状态之间的转换规则和一个初始状态组成。它根据当前的状态和输入的事件，从一个状态转移到另一个状态。

下图就是在《支付交易的三重奏：收单、结算与拒付在支付系统中的协奏曲》中提到的交易单的状态机。



从图中可以看到，一共4个状态，每个状态之间的转换由指定的事件触发。

3. 状态机对支付系统的重要性

想像一下，如果没有状态机，支付系统如何知道你的订单已经支付成功了呢？如果你的订单已经被一个线程更新为“成功”，另一个线程又更新成“失败”，你会不会跳起来？

在支付系统中，状态机管理着每笔交易的生命周期，从初始化到完成或失败。它确保交易在正确的时间点，以正确的顺序流转到正确的状态。这不仅提高了交易处理的效率和一致性，还增强了系统的鲁棒性，使其能够有效处理异常和错误，确保支付流程的顺畅。

4. 状态机设计基本原则

无论是设计支付类的系统，还是电商类的系统，在设计状态机时，都建议遵循以下原则：

明确性：状态和转换必须清晰定义，避免含糊不清的状态。

完备性：为所有可能的事件–状态组合定义转换逻辑。

可预测性：系统应根据当前状态和给定事件可预测地响应。

最小化：状态数应保持最小，避免不必要的复杂性。

5. 状态机常见设计误区

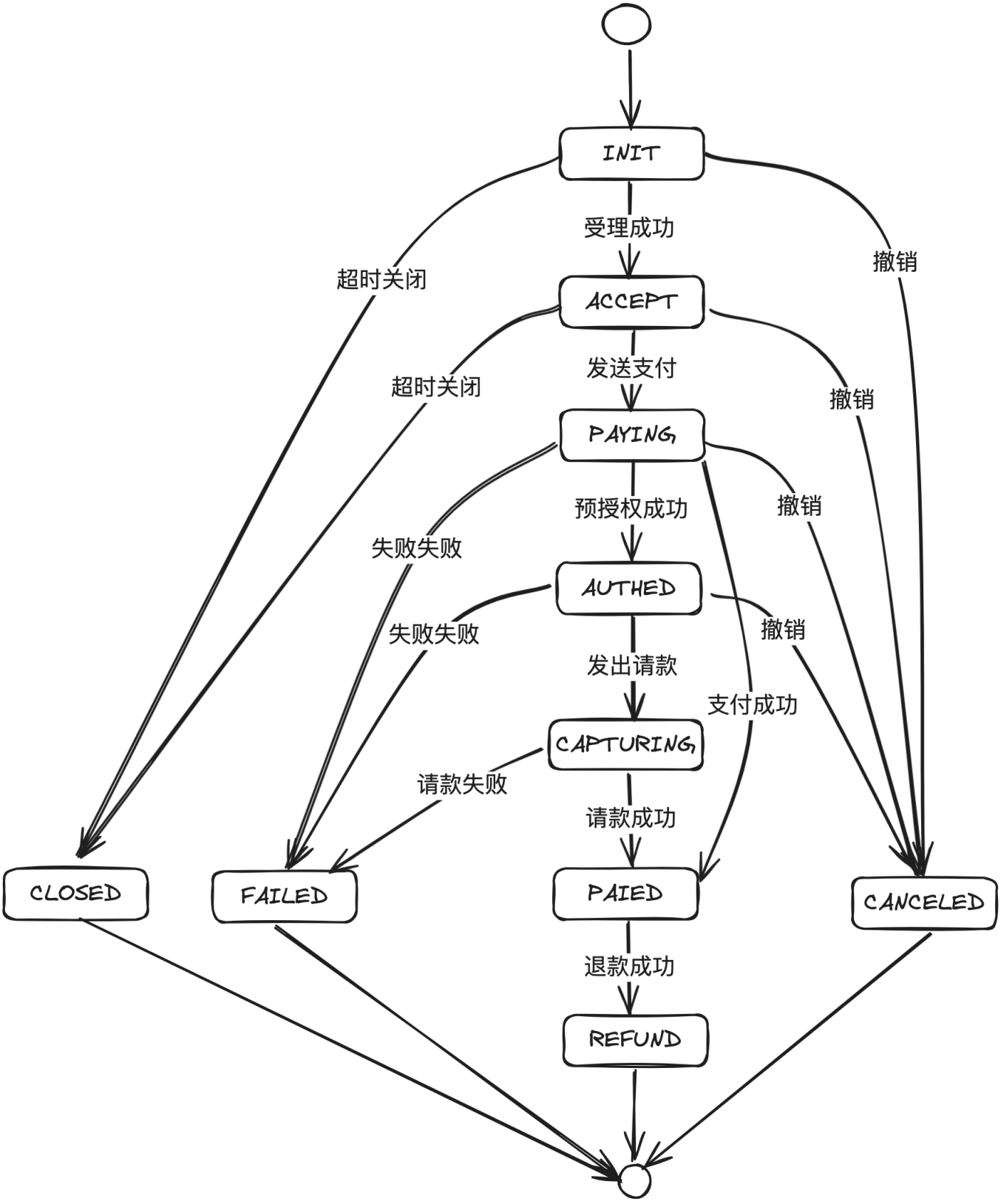
工作多年，见过很多设计得不好的状态机，导致运维特别麻烦，还容易出故障，总结出来一共有这么几条：

过度设计：引入不必要的状态和复杂性，使系统难以理解和维护。

不完备的处理：未能处理所有可能的状态转换，导致系统行为不确定。

硬编码逻辑：过多的硬编码转换逻辑，使系统不具备灵活性和可扩展性。

举一个例子感受一下。下面是亲眼见过的一个交易单的状态机设计，而且一眼看过去，好像除了复杂一点，整体还是合理的，比如初始化，受理成功就到ACCEPT，然后到PAYING，如果直接成功就到PAIED，退款成功就到REFUND。



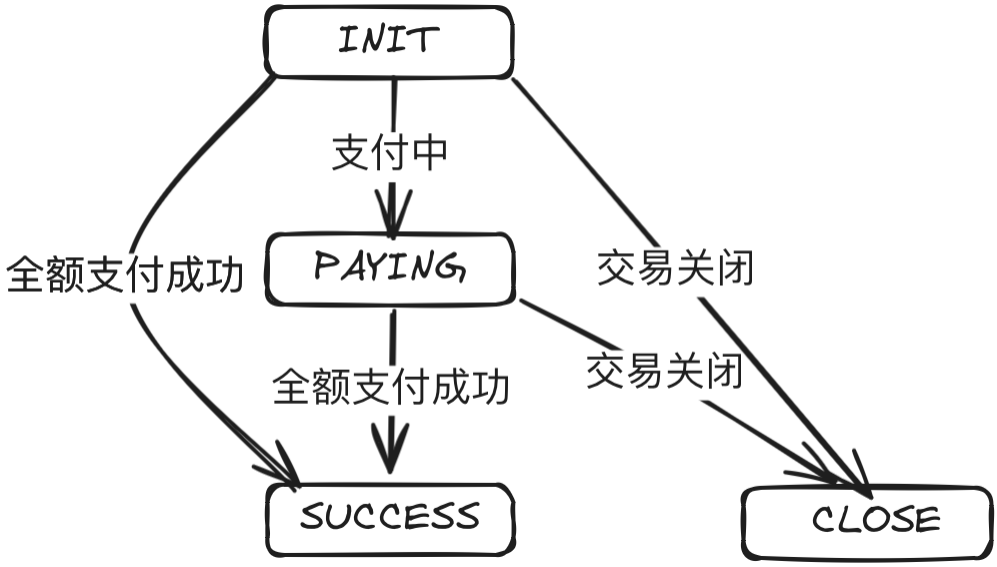
我说说这个状态机有几个不合理的地方：

1. 过于复杂。一些不必要的状态可以去掉，比如ACCEPT没有存在的必要。
2. 职责不明确。支付单就只管支付，到PAIED就支付成功，就是终态不再改变。REFUND应该由退款单来负责处理，否则部分退款怎么办。

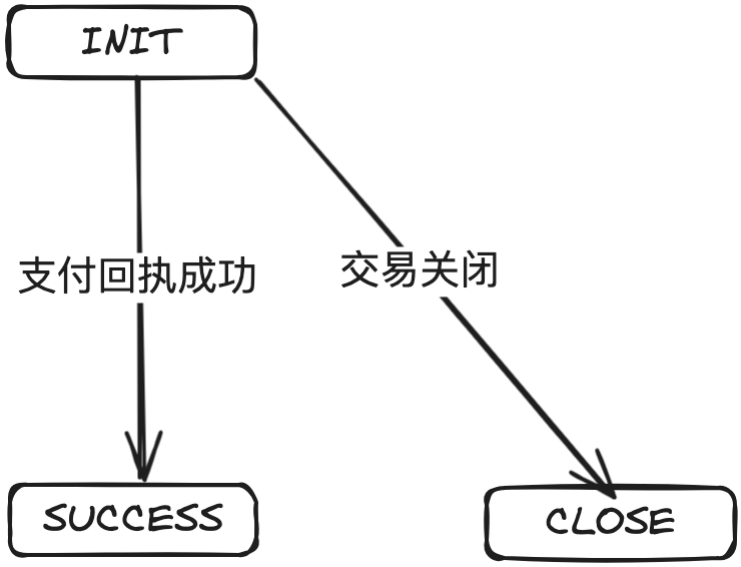
我们需要的改造方案：

1. **精简掉不必要的状态**，比如ACCEPT。
2. **把一些退款、请款等单据单独抽出去**，这样状态机虽然多了，但是架构更加清晰合理。

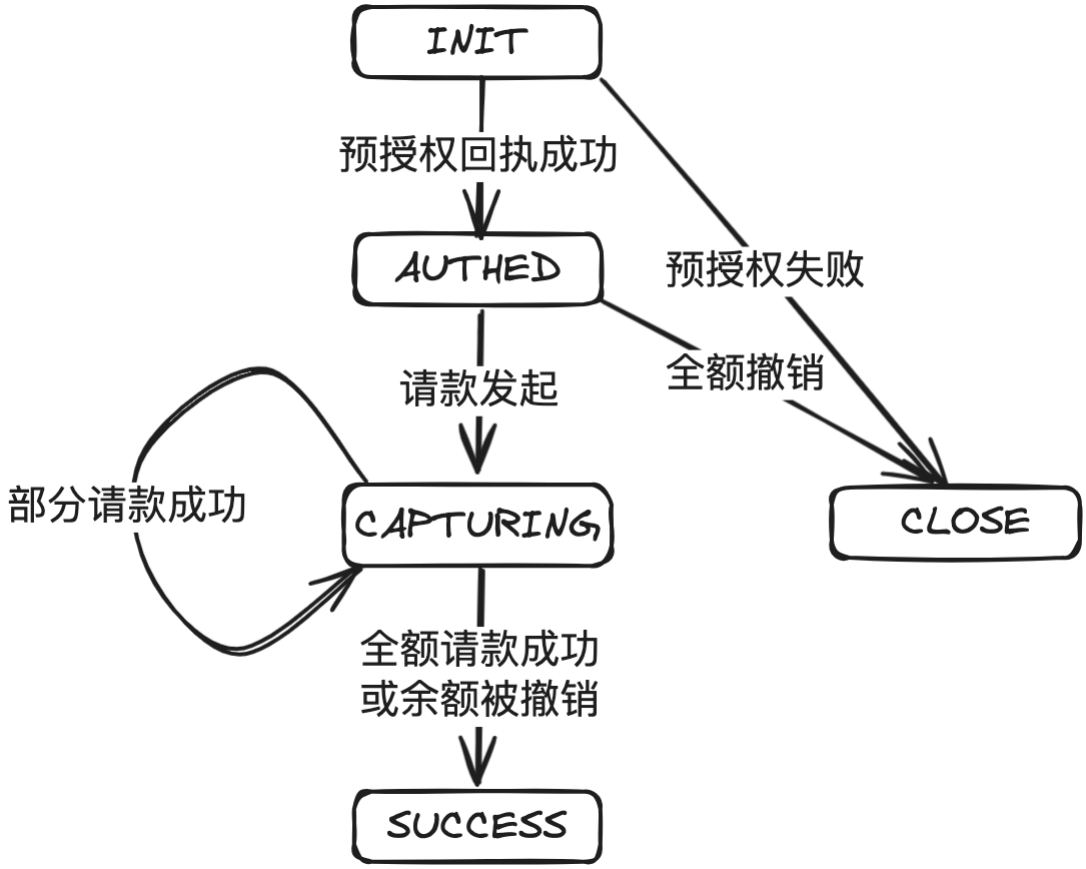
主单：



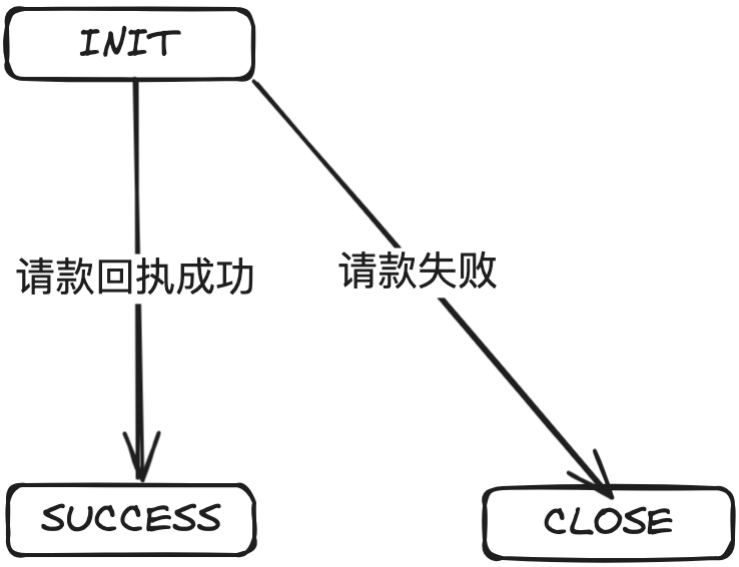
普通支付单：



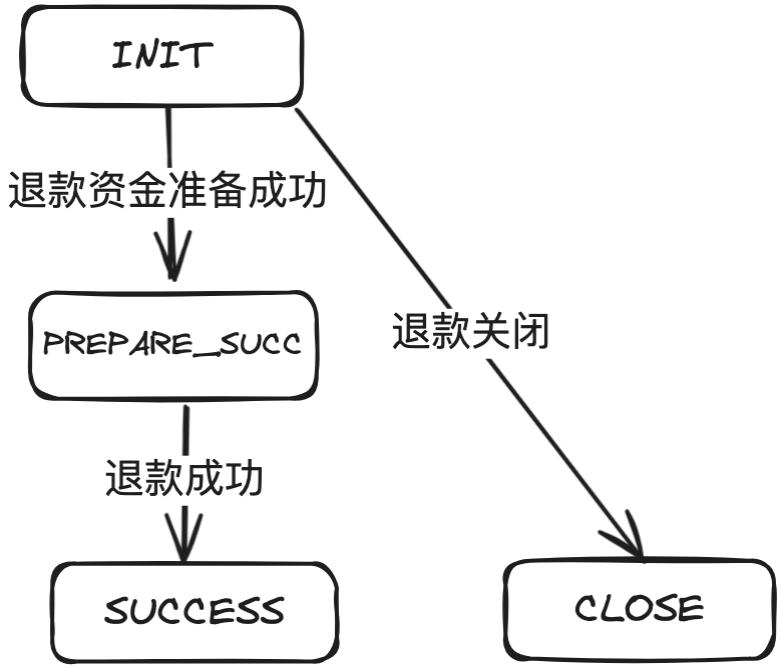
预授权单：


INIT
预授权回执成功
AUTHED
预授权失败
请款发起
全额撤销
部分请款成功
CAPTURING
CLOSE
全额请款成功
或余额被撤销
SUCCESS

请款单：


INIT
请款回执成功
请款失败
SUCCESS
CLOSE

退款单：



6. 状态机设计的最佳实践

在代码实现层面，需要做到以下几点：

分离状态和处理逻辑：使用状态模式，将每个状态的行为封装在各自的类中。

使用事件驱动模型：通过事件来触发状态转换，而不是直接调用状态方法。

确保可追踪性：状态转换应该能被记录和追踪，以便于故障排查和审计。

具体的实现参考第7部分的“JAVA版本状态机核心代码实现”。

7. 常见代码实现误区

经常看到工作几年的同学实现状态机时，仍然使用if else或switch case来写。这是不对的，会让实现变得复杂，且容易出现问题。

甚至直接在订单的领域模型里面使用String来定义，而不是把状态模式封装单独的类。

还有就是直接调用领域模型更新状态，而不是通过事件来驱动。

错误的代码示例：

```java
if (status.equals("PAYING") {
    status = "SUCCESS";
} else if (...) {
    ...
}
```

或者：

```java
class OrderDomainService {
    public void notify(PaymentNotifyMessage message) {
        PaymentModel paymentModel = loadPaymentModel(message.getPaymentId()
);
        // 直接设置状态
        paymentModel.setStatus(PaymentStatus.valueOf(message.status);
        // 其它业务处理
        ... ...
    }
}
```

或者：

```java
 public void transition(Event event) {
    switch (currentState) {
        case INIT:
            if (event == Event.PAYING) {
                currentState = State.PAYING;
            } else if (event == Event.SUCESS) {
                currentState = State.SUCESS;
            } else if (event == Event.FAIL) {
                currentState = State.FAIL;
            }
            break;
            // Add other case statements for different states and events
    }
}
```

8. JAVA版本状态机核心代码实现

使用Java实现一个简单的状态机，我们将采用枚举来定义状态和事件，以及一个状态机类来管理状态转换。

定义状态基类

```java
/**
 * 状态基类
 */
public interface BaseStatus {
}
```

定义事件基类

```java
/**
 * 事件基类
 */
public interface BaseEvent {
}
```

定义“状态–事件对”，**指定的状态只能接受指定的事件**

```java
/**
 * 状态事件对，指定的状态只能接受指定的事件
 */
public class StatusEventPair<S extends BaseStatus, E extends BaseEvent> {
    /**
     * 指定的状态
     */
    private final S status;
    /**
     * 可接受的事件
     */
    private final E event;

    public StatusEventPair(S status, E event) {
        this.status = status;
        this.event = event;
    }

    @Override
    public boolean equals(Object obj) {
        if (obj instanceof StatusEventPair) {
            StatusEventPair<S, E> other = (StatusEventPair<S, E>)obj;
            return this.status.equals(other.status) && this.event.equals(other.event);
        }
        return false;
    }

    @Override
    public int hashCode() {
        // 这里使用的是google的guava包。com.google.common.base.Objects
        return Objects.hash(status, event);
    }
}
```

定义状态机

```java
/**
 * 状态机
 */
public class StateMachine<S extends BaseStatus, E extends BaseEvent> {
    private final Map<StatusEventPair<S, E>, S> statusEventMap = new HashMap<>();

    /**
     * 只接受指定的当前状态下，指定的事件触发，可以到达的指定目标状态
     */
    public void accept(S sourceStatus, E event, S targetStatus) {
        statusEventMap.put(new StatusEventPair<>(sourceStatus, event), targetStatus);
    }

    /**
     * 通过源状态和事件，获取目标状态
     */
    public S getTargetStatus(S sourceStatus, E event) {
        return statusEventMap.get(new StatusEventPair<>(sourceStatus, event));
    }
}
```

定义支付的状态机。注：**支付、退款等不同的业务状态机是独立的。**

Java

```java
/**
 * 支付状态机
 */
public enum PaymentStatus implements BaseStatus {

    INIT("INIT", "初始化"),
    PAYING("PAYING", "支付中"),
    PAID("PAID", "支付成功"),
    FAILED("FAILED", "支付失败"),
    ;

    // 支付状态机内容
    private static final StateMachine<PaymentStatus, PaymentEvent> STATE_MACHINE = new StateMachine<>();
    static {
        // 初始状态
        STATE_MACHINE.accept(null, PaymentEvent.PAY_CREATE, INIT);
        // 支付中
        STATE_MACHINE.accept(INIT, PaymentEvent.PAY_PROCESS, PAYING);
        // 支付成功
        STATE_MACHINE.accept(PAYING, PaymentEvent.PAY_SUCCESS, PAID);
        // 支付失败
        STATE_MACHINE.accept(PAYING, PaymentEvent.PAY_FAIL, FAILED);
    }

    // 状态
    private final String status;
    // 描述
    private final String description;

    PaymentStatus(String status, String description) {
        this.status = status;
        this.description = description;
    }

    /**
     * 通过源状态和事件类型获取目标状态
     */
    public static PaymentStatus getTargetStatus(PaymentStatus sourceStatus, PaymentEvent event) {
        return STATE_MACHINE.getTargetStatus(sourceStatus, event);
    }
}
```

定义支付事件。注：**支付、退款等不同业务的事件是不一样的。**

```java
/**
 * 支付事件
 */
public enum PaymentEvent implements BaseEvent {
    // 支付创建
    PAY_CREATE("PAY_CREATE", "支付创建"),
    // 支付中
    PAY_PROCESS("PAY_PROCESS", "支付中"),
    // 支付成功
    PAY_SUCCESS("PAY_SUCCESS", "支付成功"),
    // 支付失败
    PAY_FAIL("PAY_FAIL", "支付失败");

    /**
     * 事件
     */
    private String event;
    /**
     * 事件描述
     */
    private String description;

    PaymentEvent(String event, String description) {
        this.event = event;
        this.description = description;
    }
}
```

在支付单模型中声明状态和根据事件推进状态的方法：

```java
/**
 * 支付单模型
 */
public class PaymentModel {
    /**
     * 其它所有字段省略
     */

    // 上次状态
    private PaymentStatus lastStatus;
    // 当前状态
    private PaymentStatus currentStatus;


    /**
     * 根据事件推进状态
     */
    public void transferStatusByEvent(PaymentEvent event) {
        // 根据当前状态和事件，去获取目标状态
        PaymentStatus targetStatus = PaymentStatus.getTargetStatus(currentStatus, event);
        // 如果目标状态不为空，说明是可以推进的
        if (targetStatus != null) {
            lastStatus = currentStatus;
            currentStatus = targetStatus;
        } else {
            // 目标状态为空，说明是非法推进，进入异常处理，这里只是抛出去，由调用者去具体处理
            throw new StateMachineException(currentStatus, event, "状态转换失败");
        }
    }
}
```

代码注释已经写得很清楚，其中StateMachineException是自定义，不想定义的话，直接使用RuntimeException也是可以的。

在支付业务代码中的使用：**只需要paymentModel.transferStatusByEvent(PaymentEvent.valueOf(message.getEvent()))**

```java
/**
 * 支付领域域服务
 */
public class PaymentDomainServiceImpl implements PaymentDomainService {

    /**
     * 支付结果通知
     */
    public void notify(PaymentNotifyMessage message) {
        PaymentModel paymentModel = loadPaymentModel(message.getPaymentId());
        try {

            // 状态推进
            paymentModel.transferStatusByEvent(PaymentEvent.valueOf(message.getEvent()));
            savePaymentModel(paymentModel);
            // 其它业务处理
            ... ...
        } catch (StateMachineException e) {
            // 异常处理
            ... ...
        } catch (Exception e) {
            // 异常处理
            ... ...
        }
    }
}
```

上面的代码只需要完善异常处理，优化一下注释，就可以直接用起来。

好处：

1. 定义了明确的状态、事件。

2. 状态机的推进，**只能通过“当前状态、事件、目标状态”来推进**，不能通过if else 或case switch来直接写。比如：STATE_MACHINE.accept(INIT, PaymentEvent.PAY_PROCESS, PAYING);

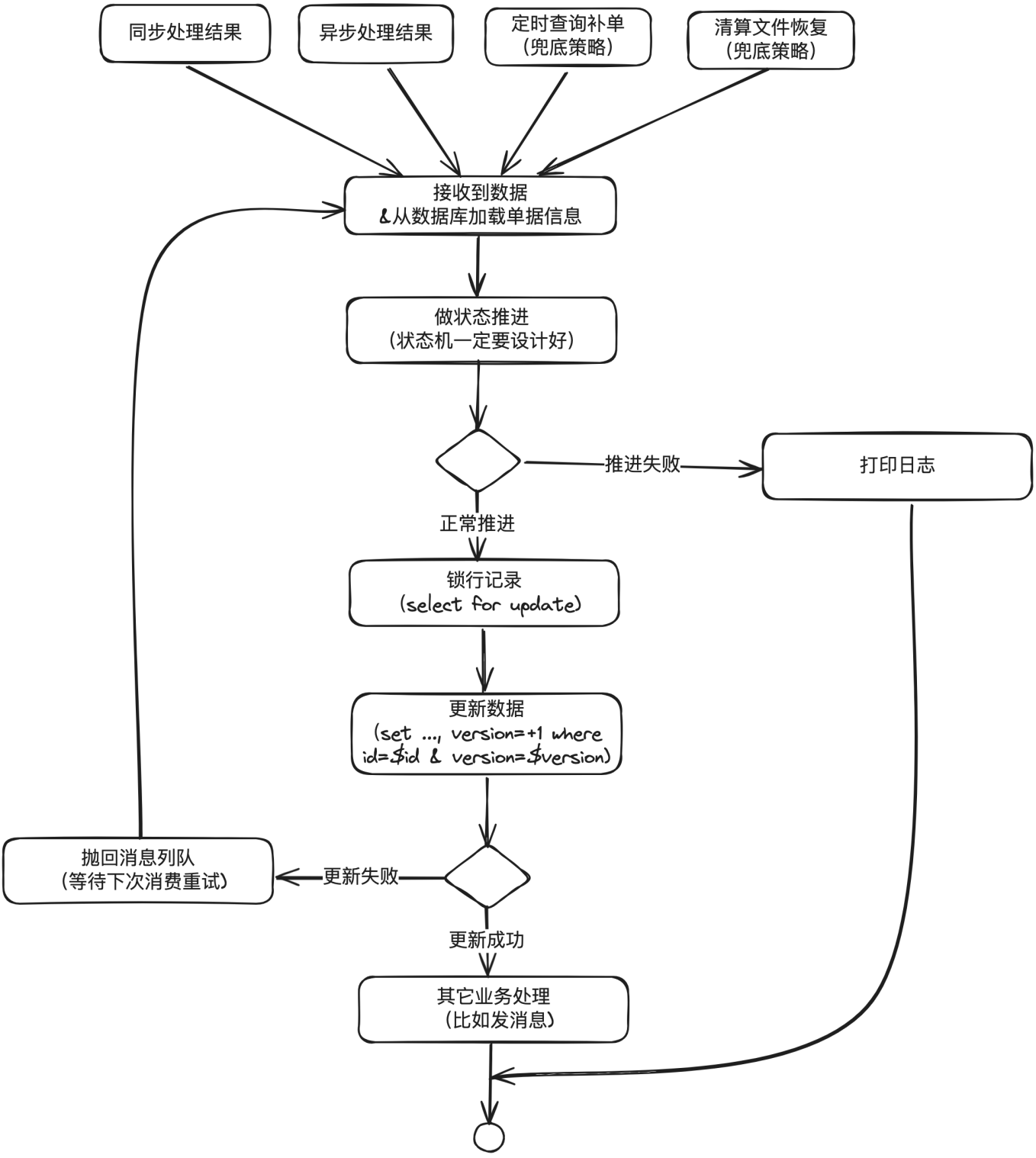
3. 避免终态变更。比如线上碰到if else写状态机，渠道异步通知比同步返回还快，异步通知回来把订单更新为“PAIED”，然后同步返回的代码把单据重新推进到PAYING。

9. 并发更新问题

留言中“月朦胧”同学提到：“状态机领域模型同时被两个线程操作怎么避免状态幂等问题？”

这是一个好问题。在分布式场景下，这种情况太过于常见。同一机器有可能多个线程处理同一笔业务，不同机器也可能处理同一笔业务。

业内通常的做法是设计良好的状态机 + 数据库锁 + 数据版本号解决。



简要说明：

1. 状态机一定要设计好，只有特定的原始状态 + 特定的事件才可以推进到指定的状态。比如INIT + 支付成功才能推进到sucess。
2. 更新数据库之前，先使用select for update进行锁行记录，同时在更新时判断版本号是否是之前取出来的版本号，更新成功就结束，更新失败就组成消息发到消息队列，后面再消费。
3. 通过补偿机制兜底，比如查询补单。
4. 通过上述三个步骤，正常情况下，最终的数据状态一定是正确的。除非是某个系统有异常，比如外部渠道开始返回支付成功，然后又返回支付失败，说明依赖的外部系统已经异常，这样只能进人工差错处理流程。

10. 结束语

状态机在支付系统中扮演着不可或缺的角色。一个专业、精妙的状态机设计能够确保支付流程的稳定性和安全性。本文提供的设计原则、常见误区警示和最佳实践，旨在帮助开发者构建出更加健壮和高效的支付系统。而随附的Java代码则为实现这一关键组件提供了一个清晰、灵活的起点。希望这些内容能够对你有用。

这是《百图解码支付系统设计与实现》专栏系列文章中的第（13）篇。和墨哥（隐墨星辰）一起深入解码支付系统的方方面面。

欢迎转载。

Github（PDF文档全集，不定时更新）：https://github.com/yinmo-sc/Decoding-Payment-System-Book

公众号：隐墨星辰。

有个小群不定时解答一些问题或知识点，有兴趣的同学可先加微信（yinmo_sc）后进入，添加微信请备注：加支付系统设计与实现讨论群。