

# Событийно-ориентированное программирование

Делегаты, события, лямбда-функции

Юрий Литвинов  
y.litvinov@spbu.ru

18.03.2025

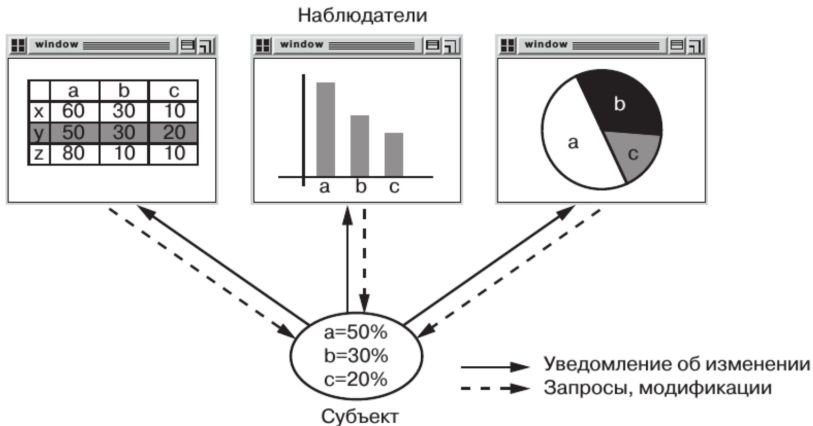
# Событийно-ориентированное программирование: зачем?

- ▶ Большая часть приложений большую часть времени чего-то ждёт
- ▶ Активное ожидание потребляет системные ресурсы
- ▶ Приложения с пользовательским интерфейсом:
  - ▶ Цикл обработки событий
  - ▶ Очередь событий
  - ▶ Обработчики
- ▶ Сетевые и распределённые приложения
- ▶ Приложения, работающие с оборудованием

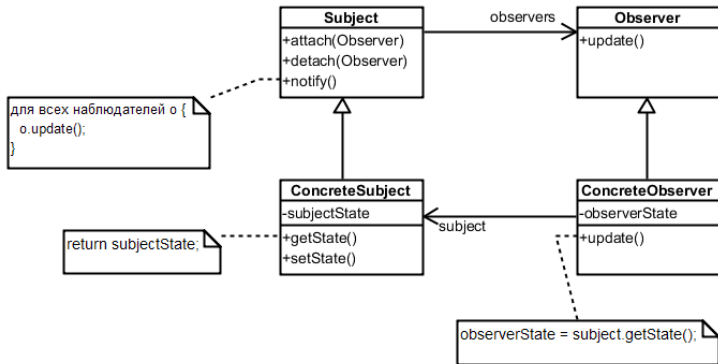
# Реализация

- ▶ Callback-и (hooks)
- ▶ Переопределение виртуальных методов библиотечного класса
  - ▶ Inversion of Control — не мы вызываем библиотеку, а она нас
- ▶ Языковая поддержка — event-ы
- ▶ Паттерн «Наблюдатель»

# Паттерн «Наблюдатель»»



# Наблюдатель, структура классов



# Делегаты

```
public delegate void Feedback(Int32 value);
```

- ▶ Типобезопасный callback
- ▶ **delegate** объявляет тип функции-делегата
  - ▶ На самом деле, автоматически генерируемый класс
  - ▶ Наследник System.MulticastDelegate, который в свою очередь наследник System.Delegate
  - ▶ Методы Invoke, BeginInvoke, EndInvoke

# Пример использования

```
public delegate int HashFunction(string str, int hashSize);
```

```
private static class HashFunctions {  
    public static int Hash1(string str, int hashSize) {  
        return str[0] % hashSize;  
    }  
}
```

```
public static int Hash2(string str, int hashSize) {  
    int result = 0;  
    foreach (var ch in str)  
        result += ch;  
    return result % hashSize;  
}  
}
```

```
static void Main(string[] args) {  
    var h = new HashFunction(HashFunctions.Hash1);  
    var result = h("ololo", 10);  
}
```

# Ещё пример, который будем дальше мучить

Цикл обработки событий

```
public class EventLoop {  
    public void Run() {  
        while (true) {  
            var key = Console.ReadKey();  
            switch (key.Key) {  
                case ConsoleKey.LeftArrow:  
                    // Сделать что-то по нажатию на "влево"  
                    break;  
                case ConsoleKey.RightArrow:  
                    // Сделать что-то по нажатию на "вправо"  
                    break;  
            }  
        }  
    }  
}
```



# Использование

```
static void Main(string[] args)
{
    var eventLoop = new EventLoop();
    eventLoop.Run();
}
```

# Цикл с делегатом

```
public delegate void ArrowHandler();

public class EventLoop {
    public void Run(ArrowHandler left, ArrowHandler right) {
        while (true) {
            var key = Console.ReadKey(true);
            switch (key.Key) {
                case ConsoleKey.LeftArrow:
                    left();
                    break;
                case ConsoleKey.RightArrow:
                    right();
                    break;
            }
        }
    }
}
```

# Обработчики

```
public class Game
{
    public void OnLeft()
        => Console.WriteLine("Going left");

    public void OnRight()
        => Console.WriteLine("Going right");
}
```

# Main

```
static void Main(string[] args)
{
    var eventLoop = new EventLoop();
    var game = new Game();
    eventLoop.Run(
        new ArrowHandler(game.OnLeft),
        new ArrowHandler(game.OnRight)
    );
}
```

# Delegate chaining

```
public void Register(SomeDelegateType someDelegate)  
    => currentDelegate = Delegate.Combine(currentDelegate, someDelegate);
```

Или

```
public void Register(SomeDelegateType someDelegate)  
    => currentDelegate += someDelegate;
```

## Цикл обработки событий с регистрацией (1)

```
public class EventLoop
{
    private ArrowHandler leftHandler;
    private ArrowHandler rightHandler;

    public void RegisterLeftHandler(ArrowHandler left)
        => leftHandler += left;

    public void RegisterRightHandler(ArrowHandler right)
        => rightHandler += right;
```

## Цикл обработки событий с регистрацией (2)

```
public void Run() {  
    while (true) {  
        var key = Console.ReadKey(true);  
        switch (key.Key) {  
            case ConsoleKey.LeftArrow:  
                if (leftHandler != null)  
                    leftHandler();  
                break;  
            case ConsoleKey.RightArrow:  
                if (rightHandler != null)  
                    rightHandler();  
                break;  
        }  
    }  
}
```

## Логгер (ещё один наблюдатель)

```
public class Logger
{
    private List<string> log = new();

    public void LeftPressed()
        => log.Add("left");

    public void RightPressed()
        => log.Add("right");
}
```



# Main

```
static void Main(string[] args)
{
    var eventLoop = new EventLoop();
    var game = new Game();
    var logger = new Logger();

    eventLoop.RegisterLeftHandler(game.OnLeft);
    eventLoop.RegisterRightHandler(game.OnRight);

    eventLoop.RegisterLeftHandler(logger.LeftPressed);
    eventLoop.RegisterRightHandler(logger.RightPressed);

    eventLoop.Run();
}
```

# Отписывание от событий

```
public void UnregisterLeftHandler(ArrowHandler left)  
=> leftHandler = (ArrowHandler)Delegate.Remove(leftHandler , left);
```

или

```
public void UnregisterLeftHandler(ArrowHandler left)  
=> leftHandler -= left;
```

## Как примерно выглядит Invoke для цепочки

```
public int Invoke(int value) {  
    int result;  
    Delegate[] delegateSet = _invocationList as Delegate[];  
    if (delegateSet != null) {  
        foreach (Feedback d in delegateSet)  
            result = d(value);  
    } else {  
        result = _methodPtr.Invoke(_target, value);  
    }  
  
    return result;  
}
```

# Вызов делегатов из цепочки вручную

```
Delegate[] arrayOfDelegates = leftHandler.GetInvocationList();  
foreach (ArrowHandler handler in arrayOfDelegates) {  
    try {  
        handler.Invoke();  
    }  
    catch (InvalidOperationException e) {  
        Object component = handler.Target;  
        Console.WriteLine(  
            "Failed to call handler from {1}{2}{0} Error: {3}{0}{0}",  
            Environment.NewLine,  
            ((component == null) ? "" : component.GetType() + "."),  
            handler.GetMethodInfo().Name,  
            e.Message);  
    }  
}
```

# Шаблонные типы делегатов

```
public delegate int HashFunction(string str, int hashSize);
```



```
Func<string, int, int>
```

- ▶ Func<T1, T2, ..., TResult>
- ▶ Action<T1, T2, ...>
- ▶ Не дружат с **ref** и **out**

# События

`eventLoop.RegisterLeftHandler(game.OnLeft);` — много работы  
`eventLoop.leftHandler += game.OnLeft;` — очень плохо

Надо (в `EventLoop`):

```
public event Action LeftHandler;  
public event Action RightHandler;
```

и (в `Main`):

```
eventLoop.LeftHandler += game.OnLeft;  
eventLoop.RightHandler += game.OnRight;
```

```
eventLoop.LeftHandler += logger.LeftPressed;  
eventLoop.RightHandler += logger.RightPressed;
```

## Анонимные методы

```
static void Main(string[] args) {  
    var eventLoop = new EventLoop();  
    var game = new Game();  
    eventLoop.LeftHandler += game.OnLeft;  
    eventLoop.RightHandler += game.OnRight;  
    var log = new List<string>();  
    eventLoop.LeftHandler += delegate {  
        log.Add("left");  
    };  
    eventLoop.RightHandler += delegate {  
        log.Add("right");  
    };  
    eventLoop.Run();  
}
```

## Замыкания (1)

```
static Func<Point, Point> CreateRemapFunction(
    Rectangle rect1, Rectangle rect2)
{
    var xScale = rect2.Width() / rect1.Width();
    var yScale = rect2.Height() / rect1.Height();
    Func<Point, Point> result = delegate(Point point) {
        var returnValue = new Point();
        returnValue.x = point.x * xScale;
        returnValue.y = point.y * yScale;
        return returnValue;
    };
    return result;
}
```



## Замыкания (2, пример использования)

```
static void Main(string[] args) {  
    var rect1 = new Rectangle() {  
        topLeft = new Point() { x = 0, y = 0 },  
        bottomRight = new Point() { x = 2, y = 2 }  
    };  
    var rect2 = new Rectangle() {  
        topLeft = new Point() { x = 0, y = 0 },  
        bottomRight = new Point() { x = 4, y = 6 }  
    };  
  
    var remap = CreateRemapFunction(rect1, rect2);  
    var point = new Point() { x = 1, y = 1 };  
    var transformedPoint = remap(point);  
    Console.WriteLine("Transformed point: x = {0}, y = {1}",  
        transformedPoint.x, transformedPoint.y);  
}
```

# Замыкания, способ прострелить себе ногу

```
delegate void F();
```

```
class Program
```

```
{
```

```
    static void Main(string[] args)
```

```
    {
```

```
        var delegates = new F[10];
```

```
        for (var i = 0; i < 10; ++i)
```

```
        {
```

```
            delegates[i] = delegate { Console.WriteLine(i); };
```

```
        }
```

```
        foreach (var f in delegates)
```

```
        {
```

```
            f();
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

# Что генерит компилятор

```
private static void Main(string[] args)
{
    F[] fArray = new F[10];
    Program.<>c__DisplayClass0_0 cDisplayClass00 = new Program.<>c__DisplayClass0_0();
    for (cDisplayClass00.i = 0; cDisplayClass00.i < 10; ++cDisplayClass00.i) {
        fArray[cDisplayClass00.i] = new F((object) cDisplayClass00, __methodptr(<Main>b__0));
    }
    foreach (F f in fArray)
        f();
}
```

[CompilerGenerated]

```
private sealed class <>c__DisplayClass0_0
{
    public int i;
    internal void <Main>b__0() {
        Console.WriteLine(this.i);
    }
}
```

# Как бороться

```
delegate void F();
```

```
class Program
```

```
{  
    static void Main(string[] args)  
    {  
        var delegates = new F[10];  
        for (var i = 0; i < 10; ++i)  
        {  
            var locall = i;  
            delegates[i] = delegate { Console.WriteLine(locall); };  
        }  
  
        foreach (var f in delegates)  
        {  
            f();  
        }  
    }  
}
```

# Что получится

```
private static void Main(string[] args)
{
    F[] fArray = new F[10];
    for (int index = 0; index < 10; ++index) {
        Program.<>c__DisplayClass0_0 cDisplayClass00 = new Program.<>c__DisplayClass0_0();
        cDisplayClass00.local1 = index;
        fArray[index] = new F((object) cDisplayClass00, __methodptr(<Main>b__0));
    }
    foreach (F f in fArray)
        f();
}
```

[CompilerGenerated]

```
private sealed class <>c__DisplayClass0_0
{
    public int local1;
    internal void <Main>b__0() {
        Console.WriteLine(this.local1);
    }
}
```

# Лямбда-выражения

**delegate**(список параметров)

```
{  
    тело  
};
```



(список параметров) => { тело };

# Примеры

```
eventLoop.LeftHandler += () => log.Add("left");  
eventLoop.RightHandler += () => log.Add("right");
```

```
Func<int, int> x2 = x => x * 2;  
var n = x2(1); // n будет 2
```

```
List<int> list = new List<int>() { 20, 1, 4, 8, 9, 44 };  
List<int> evenNumbers = list.FindAll(i => (i % 2) == 0);
```

# Каноничное объявление события (1)

Наследник EventArgs, содержащий в себе параметры события

- ▶ Если параметров нет, то обработчики события всё равно должны принимать EventArgs
  - ▶ Передавать при вызове имеет смысл EventArgs.Empty

```
internal class NewMailEventArgs : EventArgs {  
    private readonly string from, to, subject;  
    public NewMailEventArgs(string from, string to, string subject) {  
        this.from = from; this.to = to; this.subject = subject;  
    }  
    public string From => from;  
    public string To => to;  
    public string Subject => subject;  
}
```



## Каноничное объявление события (2)

Само событие в наблюдаемом классе

- ▶ Инстанциация шаблона EventHandler
- ▶ **public delegate void** EventHandler<TEventArgs>( **object** sender, TEventArgs e);

```
internal class MailManager {  
    public event EventHandler<NewMailEventArgs> NewMail;  
    ...  
}
```

## Каноничное объявление события (3)

Вспомогательный метод, кидающий событие

- ▶ Сюда идёт проверка списка подписчиков на null
- ▶ Вызов лучше делать потокобезопасным

```
internal class MailManager {  
    ...  
    protected virtual void OnNewMail(NewMailEventArgs e) {  
        EventHandler<NewMailEventArgs> temp =  
            Volatile.Read(ref NewMail);  
        if (temp != null)  
            temp(this, e);  
    }  
    ...  
}
```

## Каноничное объявление события (4)

Кидание события

- ▶ Создаём наследника EventArgs
- ▶ Вызываем метод, отправляющий событие наблюдателям

```
internal class MailManager {  
    public void SimulateNewMail(string from, string to, string subject) {  
        NewMailEventArgs e = new NewMailEventArgs(from, to, subject);  
        OnNewMail(e);  
    }  
}
```

# Принимающий событие

```
internal sealed class Fax {  
    public Fax(MailManager mm)  
        => mm.NewMail += FaxMsg;  
  
    private void FaxMsg(object sender, NewMailEventArgs e) {  
        Console.WriteLine("Faxing mail message:");  
        Console.WriteLine(" From={0}, To={1}, Subject={2}",  
            e.From, e.To, e.Subject);  
    }  
  
    public void Unregister(MailManager mm)  
        => mm.NewMail -= FaxMsg;  
}
```

# Ручное управление подписчиками

```
public event EventHandler<FooEventArgs> Foo {  
    add { eventSet.Add(fooEventKey, value); }  
    remove { eventSet.Remove(fooEventKey, value); }  
}
```

```
protected virtual void OnFoo(FooEventArgs e) {  
    eventSet.Raise(fooEventKey, this, e);  
}
```

eventSet — рукописный словарь с цепочками обработчиков, не поместившийся в презентацию

# Результат (1)

```
public class EventLoop {
    public event EventHandler<EventArgs> LeftHandler = (sender, args) => { };
    public event EventHandler<EventArgs> RightHandler = (sender, args) => { };
    public void Run() {
        while (true) {
            var key = Console.ReadKey(true);
            switch (key.Key) {
                case ConsoleKey.LeftArrow:
                    LeftHandler(this, EventArgs.Empty);
                    break;
                case ConsoleKey.RightArrow:
                    RightHandler(this, EventArgs.Empty);
                    break;
            }
        }
    }
}
```

## Результат (2)

```
public class Game
{
    public void OnLeft(object sender, EventArgs args)
        => Console.WriteLine("Going left");

    public void OnRight(object sender, EventArgs args)
        => Console.WriteLine("Going right");
}
```

## Результат (3)

```
static void Main(string[] args)
{
    var eventLoop = new EventLoop();
    var game = new Game();
    eventLoop.LeftHandler += game.OnLeft;
    eventLoop.RightHandler += game.OnRight;

    var log = new List<string>();

    eventLoop.LeftHandler += (sender, eventArgs) => log.Add("left");
    eventLoop.RightHandler += (sender, eventArgs) => log.Add("right");

    eventLoop.Run();
}
```