Информатика

Делегаты, LINQ

© Марченко Антон Александрович 2017 г.

Делегат

- Ссылка на метод(ы)
  - Очень сильно упрощенно
- Ссылочный тип, содержащий
  - Адрес метода
  - Ссылку на экземпляр
  - Ссылку на массив цепочки делегатов

Делегат

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

генерирует после компиляции класс

```
internal class Feedback : System.MulticastDelegate
{
    // Конструктор
    public Feedback(Object object, IntPtr method);
    // Метод, прототип которого задан в исходном тексте
    public virtual void Invoke(Int32 value);
    // Методы, обеспечивающие асинхронный обратный вызов
    public virtual IAsyncResult BeginInvoke
    (Int32 value,AsyncCallback callback, Object object);
    public virtual void EndInvoke(IAsyncResult result);
}
```

Метод как значение делегата

```
// Объявляем тип
delegate int MyDelegate(int x, int y);

static int SumMethod(int x, int y)
{
    return x + y;
}

...

MyDelegate d1 = SumMethod;
```

Анонимные методы

- Позволяют описать тело метода без указания имени (C# 2.0)

```
delegate int MyDelegate(int x, int y);

...

MyDelegate d2 = delegate(int x, int y) { return x + y; };
```

Лямбда-выражения

- При объявлении анонимного метода ключевое слово delegate можно опустить
- И использовать ‘=>’ вместо return

```
MyDelegate anonymous = delegate(int x, int y)
                       { return x + y; };
MyDelegate lambda = (int x, int y)=>x + y;
```

статья на хабре по использованию делегатов и лямбд в калькуляторе

Анонимные обобщенные делегаты

Начиная с C# 3:

- **Action** – семейство делегатов, не возвращающих значения
- **Func** – семейство делегатов, возвращающих значение
- **Predicate** – делегат, возвращающий bool

Анонимные делегаты

- Позволяют сэкономить время, избавляя от необходимости объявлять делегаты с одинаковыми определениями
- Активно используются с методами расширения и LINQ

```
Func<int, int, int> funcAndLambda = (x, y) => x + y;
```

Action

- Семейство из 17 делегатов,
  не возвращают значение

```
public delegate void Action<T>(T obj);
public delegate void Action<T1, T2>(T1 arg1, T2 arg2);
public delegate void Action<T1, T2, T3>(T1 arg1, T2 arg2, T3 arg3);
...
public delegate void Action<T1, ..., T16>(T1 arg1, ..., T16 arg16);
```

```
Action<string, string> Hello = (x, y) => Console.WriteLine($"{x} {y}");
```

Func

- Семейство из 17 делегатов, **возвращают значение**

```
public delegate TResult Func<TResult>();
public delegate TResult Func<T, TResult>(T arg);
public delegate TResult Func<T1, T2, TResult>(T1 arg1, T2 arg2);
public delegate TResult Func<T1, T2, T3, TResult>
(T1 arg1, T2 arg2, T3 arg3);
...
public delegate TResult Func<T1,..., T16, TResult>
(T1 arg1, ..., T16 arg16);

Func<int, int, int> funcAndLambda = (x, y) => x + y;
```

Multicast

```
// Реализация метода Invoke класса Delegate
public void Invoke(Int32 value)
{
    Delegate[] delegateSet = _invocationList as Delegate[];
    if (delegateSet != null)
    {
        foreach (Feedback d in delegateSet)
            d(value); // Вызов каждого делегата
    }
    else
    {
        _methodPtr.Invoke(_target, value);
        // Строка выше – имитация реального кода.
    }
}
```

Арифметика на делегатах

```
delegate void HelloWorld();

static void Hello()
{
    Console.Write("Hello ");
}
static void World()
{
    Console.WriteLine
    ("world!");
}
...
```

```
HelloWorld hello = Hello;
hello += World;
hello();

hello -= World;
hello();
```

```
Hello world!
Hello
```

Замыкания

- *Замыкание* – структура данных для хранения функции вместе с окружением © Wiki
- Замыкание, прикрепленное к родительскому методу имеет доступ к членам, определённым в теле родительского метода

Замыкания

```
public Person FindById(int id)
{
    return this.Find(delegate (Person p)
    {
        return (p.Id == id);
    });
}
```

Захват в замыкание

- Переменная, захваченная в замыкание продлевает время жизни пока живо замыкание
- Не важно, какого она типа: ссылочного или типа значения

Замыкания на переменных цикла

```
var actions = new List<Action>();
foreach (var i in Enumerable.Range(1, 3))
{
    actions.Add(() => Console.WriteLine(i));
}

foreach (var action in actions)
{
    action();
}
// До    C# 5:  3 3 3
// После C# 5:  1 2 3
```

Статья на хабре

Операторы над последовательностями

Мотивация

- Пусть имеется массив (источник данных):

```
int[] source = {7, 3, -10, 17, 0, 9, 5};
```

- Нужно найти положительные элементы

```
{7, 3, 17, 9, 5}
```

- И упорядочить их по убыванию

```
{17, 9, 7, 5, 3}
```

Обычное решение

```
List<int> results = new List<int>();
foreach (var i in source)
{
    if (i > 0)
    {
        results.Add(i);
    }
}

results.Sort((x1, x2) => x2 - x1);
```

LINQ запрос

Method syntax

```
var results = source.Where(i => i > 0)
                    .OrderByDescending(i=>i);
```

Query syntax

```
var results = from i in source
              where i > 0
              orderby i descending
              select i;
```

LINQ

Language Integrated Query

- **Интегрированный язык запросов**
  - язык внутри C#
- В основе лежат идеи:
  1. функционального программирования
  2. языка структурированных запросов SQL

LINQ и ФП

- Основан на старых добрых идеях Lisp:

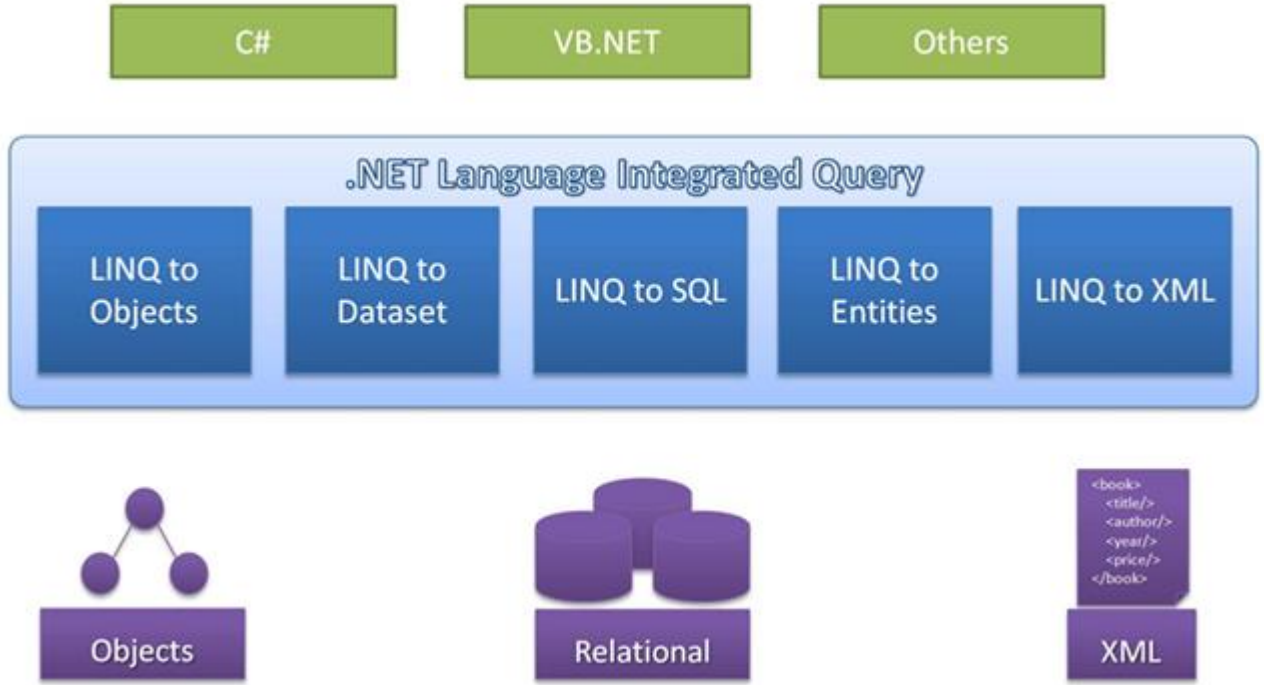
map, filter, reduce

- Программирование без побочных эффектов
- Ленивые вычисления

LINQ и SQL

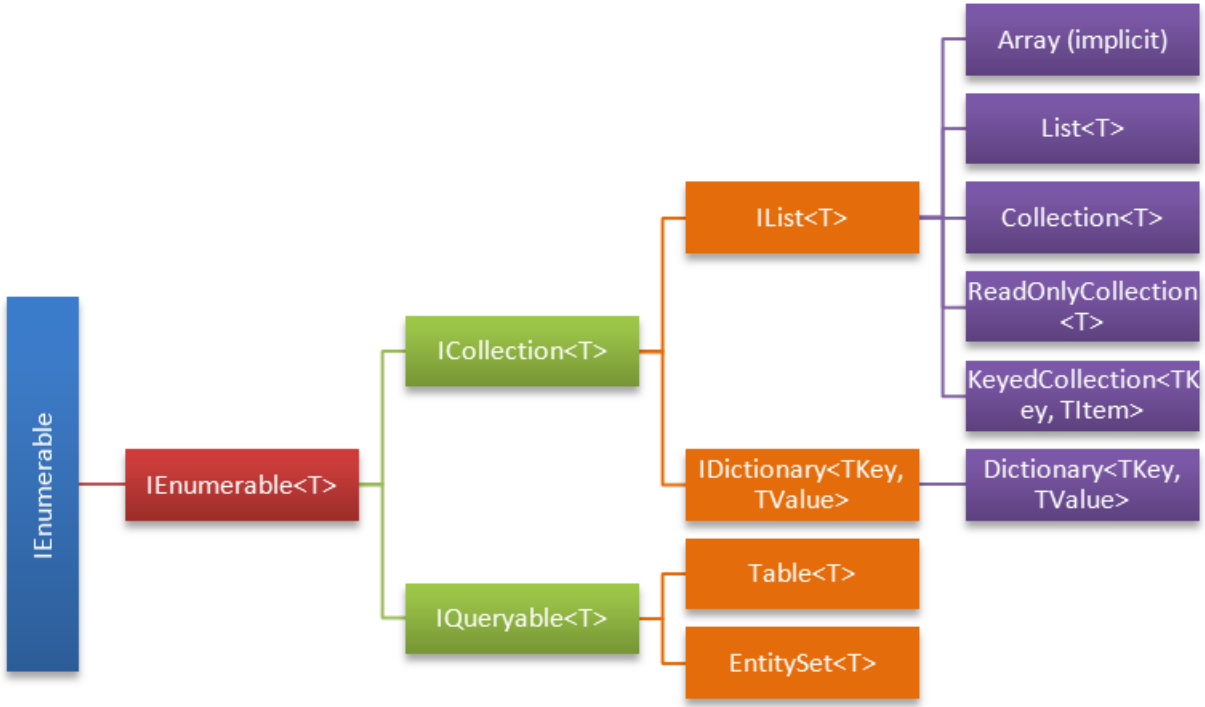
- LINQ – язык *запросов*
- LINQ запросы могут транслироваться в SQL для работы с БД
  - LINQ to SQL
  - LINQ to Entities

Инфраструктура LINQ



LINQ и коллекции

- LINQ может использоваться со всеми типами .NET коллекций



Концепции LINQ

- Последовательность
- Источник данных
- Запрос
- Оператор запроса
- Провайдер LINQ

Концепции LINQ

- Последовательность
  - коллекция с итератором
- Источник данных
  - Последовательность для запроса
- Запрос
  - Выражение, извлекающее информацию из последовательности (лениво)

Концепции LINQ

- Оператор запроса
  - Чистая функция, определённая на последовательностях, используемая в запросах
- Провайдер LINQ
  - Реализация операторов запросов для некоторого источника данных
    - LINQ to Objects, LINQ to SQL, LINQ to XML, LINQ to Twitter…

Списки в ФП: map, filter, reduce

- В функциональных языках списки играют особую роль
- С помощью фильтрации, проекции и свёртки списков можно решать широкий круг задач
- В C# наиболее близким аналогом списков из ФП являются последовательности

Проекция (Map)

- Применяет функцию преобразования к каждому элементу коллекции и возвращает получившуюся коллекцию
- Оператор Select в LINQ

```
var result = source.Select(x => x*x);

var uppercase = "Hello world!".Select(char.ToUpper);
//что равносильно var uppercase = "Hello world!".ToUpper();
```

Фильтрация (Filter)

- Вычисляет предикат на каждом элементе коллекции и возвращает элементы, удовлетворяющие предикату
- Оператор Where в LINQ

```
var result = source.Where(i => i > 0);
```

Свёртка (Reduce|Fold)

- Применяет бинарную функцию на элементах коллекции и сворачивает коллекцию до одного значения
- ***Всё, что можно сделать в цикле, можно заменить свёрткой***
- Aggregate в LINQ

```
var result = source
                .Aggregate((acc, i) =>
                   acc + (i > 0 ? i : 0));
```

- Частные случаи Count, Min, Max, Sum, Average

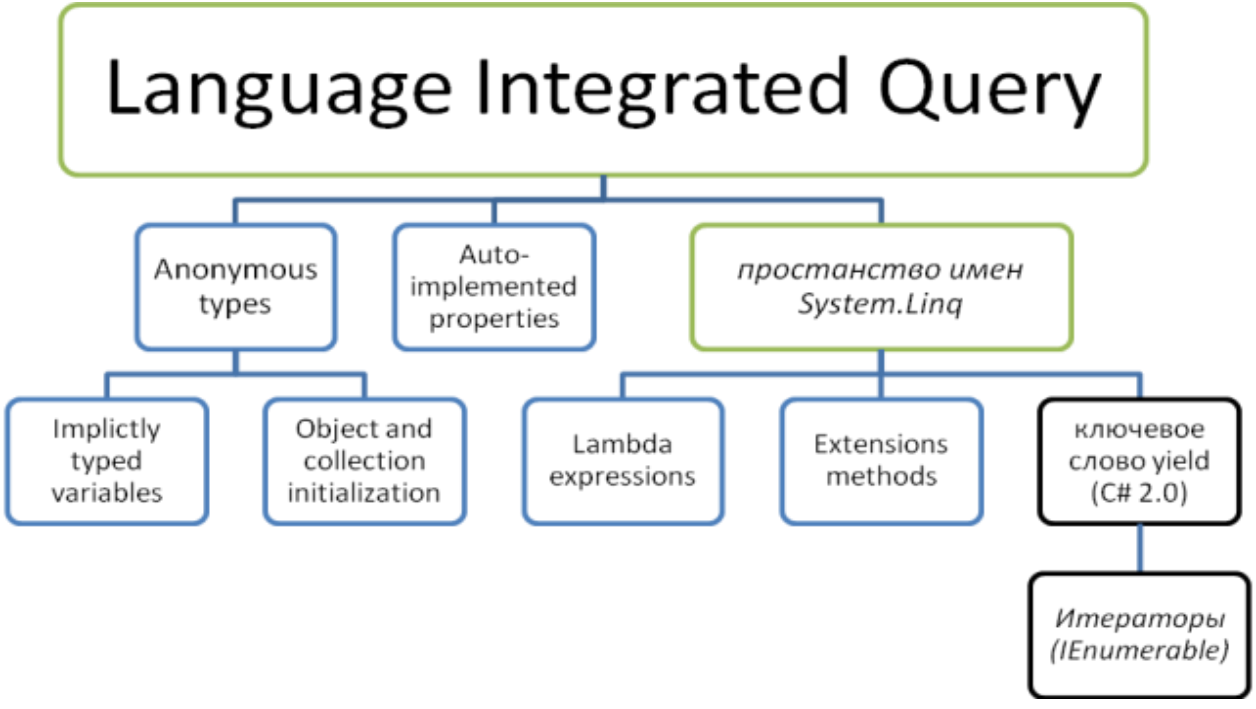
```
double result = source.Average();
```

Другие операторы LINQ

- Разбиение (Take/Skip)
- Объединение (Join, GroupJoin)
- Конкатенация
- Упорядочивание
- Группировка

Технологии в основе LINQ

Большинство элементов C# 3.0 создавались специально для LINQ



Последовательность IEnumerable

Коллекция элементов с итератором, доступным из метода GetEnumerator

```
public interface IEnumerable<out T> : IEnumerable
{
    IEnumerator<T> GetEnumerator();
}
public interface IEnumerable
{
    IEnumerator GetEnumerator();
}
```

Последовательности и интервалы

```
IEnumerable<int> arraySeq =
    new[] {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
foreach (var i in arraySeq)
    Console.Write($"{i} ");
Console.WriteLine();
```

```
IEnumerable<int> seq=Enumerable.Range(1, 10);
foreach (var i in seq)
    Console.Write($"{i} ");
Console.WriteLine();
```

Генерация последовательностей

- Последовательности можно описывать как класс, реализующий IEnumerable<T>, с методом GetEnumerator создания экземпляров итератора для этого класса
- Класс итератора можно описать явно
- Пример кода

Генерация последовательностей

- Можно вместо явного описания итераторов использовать генераторы yield return
- Пример кода

IEnumerable - фабрика

- IEnumerable – *фабрика* создания итераторов (**паттерн фабричный метод**)
- Итератор – механизм получения текущего элемента и перехода к следующему
- *Существование коллекции необязательно!*

IEnumerable без коллекции

- Можно генерировать очень длинные последовательности (почти бесконечные)

```
static IEnumerable<long> Naturals()
{
    long i = 1;
    while (i < long.MaxValue-1)
        yield return i++;
}
```

Что произойдёт?

```
static IEnumerable<long>
Naturals()
{
    long i = 1;
    while (i < long.MaxValue-1)
        yield return i++;
}
```

```
static void Main(string[] args)
{
    int i = 0;
    foreach(var n in
            Naturals())
    {
        if (i++ >= 10) break;
        Console.Write($"{n} ");
    }
    Console.WriteLine();
}
```

А так?

```
static IEnumerable<long>
Naturals()
{
    long i = 1;
    while (i < long.MaxValue-1)
        yield return i++;
}
```

```
static void Main(string[] args)
{
    int i = 0;
    foreach(var n in
            Naturals().ToList())
    {
        if (i++ >= 10) break;
        Console.Write($"{n} ");
    }
    Console.WriteLine();
}
```

Ленивые вычисления

- При работе с IEnumerable последовательность не создаётся полностью
- Мы работаем с конечным автоматом
- Данные запрашиваются по одному
- *Это – ленивые вычисления*
- Во втором примере ToList заставил последовательность вычисляться

Ленивые вычисления

- Значение вычисляется не когда строится новая последовательность, а когда запускается перебор (MoveNext)
- Отложенное вычисление играет важное значение в LINQ
- Отделяет построение запроса от его исполнения

Лень и энергичность

- Все стандартные операторы запросов вычисляют значения лениво
- Есть исключения
  - Операторы, возвращающие скаляр: First, Count
  - Преобразования: ToArray, ToList, ToDictionary, ToLookup

Что плохого в коде?

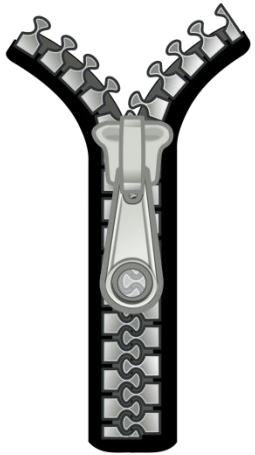
```
public static IEnumerable<PersonWithDish> GiveDishesBadWay
(IEnumerable<Person> people, IEnumerable<Dish> dishes)
{
    for (int i = 0; i < people.Count(); i++)
    {
        yield return new PersonWithDish()
        {
            PersonName = people.ElementAt(i).Name,
            DishName = dishes.ElementAt(i).Name
        };
    }
}
```

Как лучше

```
public static IEnumerable<PersonWithDish> GiveDishesBetterWay
(IReadOnlyList<Person> people, IReadOnlyList<Dish> dishes)
{
    for (int i = 0; i < people.Count; i++)
    {
        yield return new PersonWithDish()
        {
            PersonName = people[i].Name,
            DishName = dishes[i].Name
        };
    }
}
```

Ещё лучше: застёжка Zip

```
public static IEnumerable<PersonWithDish> GiveDishesBestWay
(IEnumerable<Person> people, IEnumerable<Dish> dishes)
{
    return people.Zip(dishes, (p, d) => new PersonWithDish
    {
        PersonName = p.Name,
        DishName = d.Name
    });
}
```



Использование var

- При работе с LINQ запросами рекомендуется использовать var
- Тип результата запроса может быть большим и страшным

```
IEnumerable<IGrouping<string, Person>> result
    = people.GroupBy(n => n.Name);
```

VS

```
var result = people.GroupBy(n => n.Name);
```

Зачем еще использовать var

- Результатом запроса могут быть анонимные типы, их последовательности и группировки

```
var result = from person in people
             select new { person.FirstName,
                          person.LastName };
```

- Тип result – IEnumerable<‘a>

где ‘a = new { person.FirstName, person.LastName };

Анонимные типы

- Объявляются прямо в коде (inline)
  - наподобие лямбда выражений
- Экземпляры неизменяемые (immutable)
  - нельзя изменить значения свойств

```
var anonymous =
    new {FirstName = "John", LastName = "Doe"};
```

- Созданы специально для LINQ

Методы расширения

Extension methods

- Публичные статические методы в публичных статических классах, принимающих первый аргумент как this
- Позволяют расширять функционал существующих типов (даже встроенных)

Без методов расширения плохо

Боль…

```
IEnumerable<int> result =
    Enumerable.OrderByDescending
    ( Enumerable.Where(source, x => x > 0),
      x => x
    );
```

Красота

```
var result = source.Where(x => x > 0)
                   .OrderByDescending(x => x);
```

Методы расширения

- Могут ещё сильнее украсить код

```
var period = 8.October(2015).To(DateTime.Today)
                            .Step(1.Days())
                            .Select(d => d.Date);

foreach (DateTime day in period)
{
    Console.WriteLine(day);
}
```

Ссылка на код

LINQ to Objects

- Подмножество LINQ, исполняемое в памяти
- Работает с любой .NET коллекцией
  – реализующей IEnumerable
- Не требует провайдера (такого, как LINQ to SQL, LINQ to XML)

Как реализован LINQ to Objects?

- Методами расширения
- Логика основана на преобразованиях последовательностей (итераторов)
- Хороший цикл статей по реализации LINQ to Objects от Jon Skeet

Реализация фильтрации Where

- Итерируемся по последовательности
- Вычисляем значение предиката для каждого элемента
- Если элемент удовлетворяет предикату, возвращаем его в качестве следующего элемента результата (yield return)
  - Еще нужно проверить аргументы на null

Реализация Where

```
private static IEnumerable<TSource> WhereImpl<TSource>(
this IEnumerable<TSource> source,
Func<TSource, bool> predicate)
{
    foreach (TSource item in source)
    {
        if (predicate(item))
        {
            yield return item;
        }
    }
}
```

Реализация проекции Select

- Итерируемся по последовательности
- Возвращаем в качестве следующего элемента результата результат вызова селектора (функции преобразования) на текущем элементе последовательности
  - Еще нужно проверить аргументы на null

Реализация Select

```
private static IEnumerable<TResult> SelectImpl
<TSource, TResult>(
this IEnumerable<TSource> source,
Func<TSource, TResult> selector)
{
    foreach (TSource item in source)
    {
        yield return selector(item);
    }
}
```

Реализация свёртки Aggregate

- Инициализируем аккумулятор
- Итерируемся по последовательности
- Вычисляем значение агрегатной функции на каждом элемента
- Обновляем аккумулятор
  - Еще нужно проверить аргументы на null

Реализация Aggregate

```
public static TAccumulate Aggregate<TSource, TAccumulate>(
this IEnumerable<TSource> source,
TAccumulate seed,
Func<TAccumulate, TSource, TAccumulate> func)
{
    return source.Aggregate(seed, func, x => x);
}
```

Реализация Aggregate

```
public static TResult Aggregate<TSource, TAccumulate, TResult>(
    this IEnumerable<TSource> source,
    TAccumulate seed,
    Func<TAccumulate, TSource, TAccumulate> func,
    Func<TAccumulate, TResult> resultSelector)
{
    // Проверка аргументов на null, выбрасывание исключений
    TAccumulate current = seed;
    foreach (TSource item in source)
    {
        current = func(current, item);
    }
    return resultSelector(current);
}
```

Реализация Zip

- Итерируемся по двум последовательностям одновременно, пока хотя бы одна не закончится
- Придётся работать с итераторами вручную (foreach не подойдёт)
- Вычисляем значение функции на каждой паре
- Возвращаем получившееся значение в качестве следующего элемента результата (yield return)
  - Еще нужно проверить аргументы на null

Реализация Zip

```
private static IEnumerable<TResult> ZipImpl<TFirst, TSecond, TResult>(
    IEnumerable<TFirst> first,
    IEnumerable<TSecond> second,
    Func<TFirst, TSecond, TResult> resultSelector)
    {
        using (IEnumerator<TFirst> iterator1 = first.GetEnumerator())
        using (IEnumerator<TSecond> iterator2 = second.GetEnumerator())
        {
            while (iterator1.MoveNext() && iterator2.MoveNext())
            {
                yield return resultSelector(iterator1.Current,
                                            iterator2.Current);
            }
        }
    }
```

LINQ с IList<T>

- В отличие от IEnumerable, LINQ при работе со списками IList может изменять данные – добавлять или удалять элементы из списка
- *Нарушается неизменяемость*

SQL внутри C# (почти)

- У LINQ есть два ***равносильных*** синтаксиса:
  - синтаксис запросов (Query Syntax)
  - синтаксис методов (Method Syntax)

```
var adults1 = people.Where(person => person.Age >= 18);

var adults2 = from person in people
              where person.Age >= 18
              select person;
```

Query Syntax

- Синтаксис запросов – синтаксических сахар для синтаксиса методов LINQ
  - считайте, это препроцессинг
- SQL-подобное описание запросов к источникам данных

Query syntax

- Удобно использовать с объединениями и сортировками

```
from defect in SampleData.AllDefects
join subscription in SampleData.AllSubscriptions
  on defect.Project equals subscription.Project
select new { defect.Summary, subscription.EmailAddress };
```

```
SampleData.AllDefects.Join(SampleData.AllSubscriptions,
   defect => defect.Project, subscription => subscription.Project,
   (defect, subscription) => new
   {
        defect.Summary,
        subscription.EmailAddress
   });
```

Ключевые слова let и into

- В Query Syntax можно использовать let и into для хранения промежуточных результатов запроса
- Let создаёт новую переменную и инициализирует её результатом некоторого выражения
- Into создаёт новую переменную для хранения результатов применения группировки, объединения или проекции (select). Скрывает ранее использованную переменную

Ключевые слова let и into

```
var em = from e in emp
         group e by new { e.Salary, e.Id }
                  into gEmp
         let avgsal = (gEmp.Sum(t => t.Salary) / gEmp.Count())
         where gEmp.Key.Salary == avgsal
         select new { gEmp.Key.Salary, gEmp.Key.Id };
```

Сортировка

- По умолчанию LINQ запросы не упорядочивают элементы
- Можно сортировать по возрастанию с помощью OrderBy (orderby в Query Syntax)
  - по убыванию с OrderByDescending (orderby … descending в Query Syntax)

Примеры сортировки

```
var p=  from s in people
        orderby s.FirstName descending
        select s;

var p2 = people.OrderByDescending(x => x.FirstName);
```

```
var p3=  from s in people
         orderby s.FirstName , s.LastName descending
         select s;

var p4 = people.OrderByDescending(x => x.FirstName)
                .ThenBy(x => x.LastName);
```

Группировка

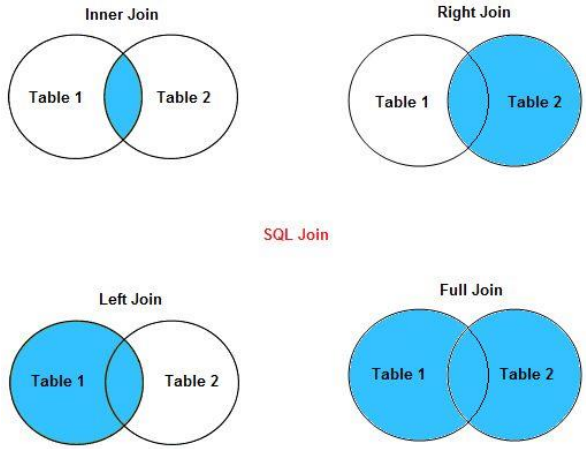
- Есть возможность группировать элементы по некоторому критерию
- К группам можно применять агрегатные функции

```
var p1 = from p in people
         group p by p.LastName;

var p2 = people.GroupBy(x => x.LastName);
```

Объединения Join

- Есть возможность объединять источники данных для выполнения запросов
- Виды объединений
  - внутреннее
  - групповой
  - левое
  - декартово произведение



Внутренний Join

- Возвращает только элементы, содержащиеся в обоих источниках

```
from s in Students
join c in Cities on s.CityID equals c.CityID
select new { StudentName = s.FirstName, CityName = c.Name }
```

Внутренний Join

- Мы можем сравнивать элементы по сложным критериям используя анонимные типы
- Имена свойств анонимных типов должны совпадать

```
from s in Students
join a in Addresses on new { s.CityID, s.RegionID } equals
                       new { a.CityID, a.RegionID }
select new { StudentName = s.FirstName, CityName = a.CityName }
```

Group Join

- Мы можем генерировать последовательность объектов из одного источника вместе со связанными элементами второго источника
- Если связанных элементов нет, создастся пустой массив

Group Join

- Мы можем генерировать последовательность объектов из одного источника вместе со связанными элементами второго источника

```
from s in Students
join c in Courses on s.StudentID equals a.StudentID into t
select { StudentName = s.Name, Courses = t }
```

- Если связанных элементов нет, создастся пустой массив

Left Join

- Мы можем возвращать последовательность пар объектов из первого источника со связанными объектами из второго. Если связанного объекта во втором источнике нет, запишется null.

```
from s in Students
join a in Addresses on s.AddressID equals a.AddressID into t
from st in t.DefaultIfEmpty()
select { AddressID = (int?)st.AddressID,
         st.City, StudentName = s.Name }
```

Декартово произведение

- Мы можем генерировать все пары элементов из обоих источников

```
from s in Students
from a in Addresses
select { a.City, s.Name }
```

Parallel LINQ

- PLINQ – это расширение возможностей LINQ to Object возможностями параллельной обработки последовательности
- Для работы с PLINQ нужно преобразовать IEnumerable<T> в ParallelQuery<T> с помощью метода **AsParallel**

Порядок в Parallel LINQ

- При обработке запроса PLINQ данные разделяются для параллельной обработки
- Может нарушаться порядок относительно исходных данных
- Для сохранения порядка нужно использовать метод **AsOrdered**

Вопросы?

e-mail: marchenko@it.kfu.ru