Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра обчислювальної техніки

Лабораторна робота №1-2

з дисципліни "Сучасні технології розробки WEB-застосувань на платформі .NET"

Тема: "Узагальнені типи (Generic) з підтримкою подій. Колекції. Модульне тестування. Ознайомлення з засобами та практиками модульного тестування"

Варіант: №8 Кільцевий список

Виконав:

студент групи ІП-93

Домінський Валентин

Олексійович

Перевірила:

Крамар Юлія Михайлівна

Київ 2022

Зміст:

Мета:

Навчитися проектувати та реалізовувати узагальнені типи, а також типи з підтримкою подій. Навчитися створювати модульні тести для вихідного коду розроблювального програмного забезпечення

Вихідний код

CircularLinkedListNode:

```
namespace Lab1.CircularLinkedListNode;

public class CircularLinkedListNode<T>
{
    public T Data;
    public CircularLinkedListNode<T>? Next;

    public CircularLinkedListNode(T data)
    {
        Data = data;
        Next = null;
    }
}
```

CircularLinkedList:

```
using System.Collections;
using System.Text;
using Lab1.CircularLinkedListNode;

namespace Lab1.CircularLinkedList;

public class CircularLinkedList<T> : ICollection<T>, IEnumerable<T>, ICloneable
{
    #region Fields

    public CircularLinkedListNode<T>? Head { get; private set; }
    public CircularLinkedListNode<T>? Tail { get; private set; }

    public int Count { get; private set; }

    public bool IsReadOnly => false;

    public event Action Added;
    public event Action Removed;

    #endregion Fields

    #region Constructors

    public CircularLinkedList()
    {
        Head = null;
        Tail = null;
    }
```

```
public CircularLinkedList(T item)
{
    SetFirstElement(item);
}

#endregion Constructors

#region Methods

public T this[int index]
{
    get
    {
        CheckCorrectIndex(index);

        var current = GetNodeInRange(Head, index);

        return current.Data;
    }
    set
    {
        CheckNull(value);

        CheckCorrectIndex(index);

        var current = GetNodeInRange(Head, index);

        current.Data = value;
    }
}

public void Add(T item)
{
    CheckNull(item);

    if (IsEmpty())
    {
        SetFirstElement(item);
        return;
    }

    Tail = new CircularLinkedListNode<T>(item);
    Tail.Next = Head;

    var current = GetNodeInRange(Head, Count - 1);

    current.Next = Tail;

    Count++;
    Added?.Invoke();
}

public void AddFirst(T item)
{
    CheckNull(item);

    if (IsEmpty())
    {
        SetFirstElement(item);
        return;
    }

    Head = new CircularLinkedListNode<T>(item)
    {
        Next = Head
    };

    Count++;
```

```
            SetTail();
            Added?.Invoke();
        }

        public void AddAt(T item, int index)
        {
            CheckNull(item);
            CheckCorrectIndex(index);

            var current = GetNodeInRange(Head, index - 1);

            var next = current.Next;

            var nodeToInsert = new CircularLinkedListNode<T>(item);

            current.Next = nodeToInsert;
            nodeToInsert.Next = next;

            Count++;
            Added?.Invoke();
        }

        public void Clear()
        {
            Head = Tail = null;
            Count = 0;
            Removed?.Invoke();
        }

        public bool Contains(T item)
        {
            CheckNull(item);

            var current = Head;

            for (var i = 0; i < Count; i++)
            {
                if (Compare(current.Data, item))
                {
                    return true;
                }

                current = current.Next;
            }

            return false;
        }

        // regular "==" only works when T is constrained to be a reference type
        // Without any constraints, you can compare with null, but only null - and
        // that comparison will always be false for non-nullable value types.
        private static bool Compare<T>(T x, T y) => EqualityComparer<T>.Default.Equals(x,
y);

        public void CopyTo(T[] array, int arrayIndex)
        {
            var node = Head;

            for (var i = arrayIndex; i < Count; i++)
            {
                array[arrayIndex + i] = node.Data;
                node = node.Next;
            }
        }

        public bool Remove(T item)
        {
            CheckNull(item);
```

```
    var current = Head;

    for (var i = 0; i < Count; i++)
    {
        if (Compare(current.Data, item))
        {
            return RemoveAt(i);
        }

        current = current.Next;
    }

    return false;
}

public void RemoveAll(T item)
{
    CheckNull(item);

    for (int i = Count; i > 0; i--)
    {
        Remove(item);
    }
}

public bool RemoveAt(int index)
{
    CheckCorrectIndex(index);

    var current = Head;
    var previous = Tail;

    for (var i = 0; i < index; i++)
    {
        previous = current;
        current = current.Next;
    }

    previous.Next = current.Next;

    ChangeEdgeNodes(previous, index);

    Count--;

    Removed?.Invoke();
    return true;
}

public void RemoveHead()
{
    RemoveAt(0);
}

public void RemoveTail()
{
    RemoveAt(Count - 1);
}

public IEnumerator<T> GetEnumerator()
{
    var node = Head;

    for (var i = 0; i < Count; i++)
    {
        yield return node.Data;
        node = node.Next;
    }
```

```
}

IEnumerator IEnumerable.GetEnumerator()
{
    return GetEnumerator();
}

private static CircularLinkedListNode<T> GetNodeInRange
    (CircularLinkedListNode<T> startingNode, int position)
{
    for (int i = 0; i < position; i++)
    {
        startingNode = startingNode.Next;
    }

    return startingNode;
}

private bool CheckCorrectIndex(int index)
{
    if (index <= Count - 1)
    {
        return true;
    }

    throw new ArgumentOutOfRangeException(nameof(index));
}

private void SetFirstElement(T item)
{
    CheckNull(item);

    var node = new CircularLinkedListNode<T>(item);

    Head = node;
    Head.Next = node;
    Tail = node;
    Tail.Next = node;

    Count++;
    Added?.Invoke();
}

private bool IsEmpty()
{
    if (Count == 0)
    {
        return true;
    }

    return false;
}

private static void CheckNull(T item)
{
    if (item == null)
    {
        throw new ArgumentNullException(nameof(item));
    }
}

private void SetTail()
{
    var currentNode = Head;

    for (var i = 0; i < Count; i++)
    {
        if (i == Count - 1)
```

```
            {
                Tail = currentNode;
            }

            currentNode = currentNode.Next;
        }

        Tail.Next = Head;
    }

    private void ChangeEdgeNodes(CircularLinkedListNode<T> previous, int index)
    {
        if (index == 0)
        {
            Head = previous.Next;
        }
        else if (index == Count - 1)
        {
            Tail = previous;
        }
    }

    public override string ToString()
    {
        StringBuilder list = new();

        var current = Head;

        for (int i = 0; i < Count; i++)
        {
            list.Append(current.Data.ToString());
            list.Append(Environment.NewLine + Environment.NewLine);

            current = current.Next;
        }

        return list.ToString();
    }

    public object Clone()
    {
        CircularLinkedList<T> list = new();
        var current = Head;

        for (int i = 0; i < Count; i++)
        {
            list.Add(current.Data);
            current = current.Next;
        }

        return list;
    }

    #endregion Methods
}
```

Car:

```
namespace Labs;

public class Car
{
    private readonly string _name = "Default name";
    private readonly int _ownerId;
    private readonly string _color = "Default color";

    public Car(int ownerId, string name, string color)
```

```
    {
        _ownerId = ownerId;
        _name = name;
        _color = color;
    }

    public override string ToString()
    {
        var properties = $"Owner Id - {_ownerId}, name - {_name} and color -
{_color}";

        return properties;
    }
}
```

Program:

```
using Lab1.CircularLinkedList;

namespace Labs;

internal class Program
{
    private static CircularLinkedList<Car> s_listing = new();

    private static void Main()
    {
        Car firstCar = new(1, "Toyota", "Red");
        Car secondCar = new(2, "Nissan", "White");
        Car thirdCar = new(3, "Honda", "Black");

        Car[] cars = new Car[] { firstCar, secondCar, thirdCar };

        s_listing.Added += OnAdded;
        s_listing.Removed += OnRemoved;

        RunAllExamples(cars);
    }

    private static void RunAllExamples(Car[] cars)
    {
        AddExample(cars);
        RemoveExample(cars);
        ForeachExample(cars);
        OtherFeaturesExample(cars);
    }

    private static void OnAdded()
    {
        Console.WriteLine("New element added");
        Console.WriteLine(s_listing.ToString());
    }

    private static void OnRemoved()
    {
        Console.WriteLine("Element removed");
        Console.WriteLine(s_listing.ToString());
    }

    private static void AddExample(Car[] cars)
    {
        s_listing.Add(cars[0]);

        // Toyota

        s_listing.AddFirst(cars[1]);
```

```
    // Nissan Toyota

    s_listing.AddAt(cars[2], 1);

    // Nissan Honda Toyota

    ResetList();
}

private static void RemoveExample(Car[] cars)
{
    s_listing.Add(cars[2]);
    s_listing.Add(cars[0]);
    s_listing.Add(cars[0]);
    s_listing.Add(cars[0]);
    s_listing.Add(cars[1]);
    s_listing.Add(cars[2]);

    // Honda Toyota Toyota Toyota Nissan Honda

    s_listing.RemoveAt(2);

    // Honda Toyota Toyota Nissan Honda

    s_listing.Remove(cars[1]);

    // Honda Toyota Toyota Honda

    s_listing.RemoveHead();

    // Toyota Toyota Honda

    s_listing.RemoveTail();

    // Toyota Toyota

    s_listing.RemoveAll(cars[0]);

    // Toyota
    // -_-
}

private static void ForeachExample(Car[] cars)
{
    s_listing.Add(cars[0]);
    s_listing.Add(cars[1]);
    s_listing.Add(cars[2]);

    // Toyota Nissan Honda

    foreach (var car in s_listing)
    {
        Console.WriteLine(car);
    }

    Console.WriteLine("//////");

    foreach (var car in s_listing.Reverse())
    {
        Console.WriteLine(car);
    }
    Console.WriteLine();

    ResetList();
}

private static void OtherFeaturesExample(Car[] cars)
```

```
    {
        s_listing.Add(cars[0]);
        s_listing.Add(cars[1]);
        s_listing.Add(cars[2]);

        // Toyota Nissan Honda

        Console.WriteLine(s_listing.Contains(cars[0])); // True;
        Console.WriteLine("//////");

        CircularLinkedList<Car> carClone = (CircularLinkedList<Car>)s_listing.Clone();
        Console.WriteLine(carClone.ToString());

        // Toyota Nissan Honda

        Car[] carsCopy = new Car[s_listing.Count];
        s_listing.CopyTo(carsCopy, 0);

        s_listing.Clear();

        Console.WriteLine(s_listing.ToString()); // -_-
        Console.WriteLine("//////");

        Console.WriteLine(carsCopy[0]); // Toyota
        Console.WriteLine("//////");

        carsCopy[0] = carsCopy[1];

        Console.WriteLine(carsCopy[0]); // Nissan
        Console.WriteLine();

        ResetList();
    }

    private static void ResetList()
    {
        s_listing.Clear();
    }
}
```

CircularLinkedListNodeTests:

```
using Lab1.CircularLinkedListNode;
using Xunit;

namespace Lab2;

public class CircularLinkedListNodeTests
{
    [Theory]
    [InlineData(0)]
    [InlineData(-1)]
    [InlineData(1)]
    [InlineData(int.MinValue)]
    [InlineData(int.MaxValue)]
    public void Constructor_Int_ReturnsCorrectValues(int expected)
    {
        // Arrange
        var node = new CircularLinkedListNode<int>(expected);

        // Act
        var actualData = node.Data;
        var actualNext = node.Next;

        // Assert
        Assert.Equal(expected, actualData);
```

```
        Assert.Null(actualNext);
    }

    [Theory]
    [InlineData("Паляниця")]
    [InlineData("Русский военный корабль")]
    [InlineData("European Union")]
    [InlineData("汉字 and 漢字")]
    [InlineData("الْعَرَبِيَّة")]
    [InlineData("🙊🤓😎□□□")]
    public void Constructor_String_ReturnsCorrectValues(string expected)
    {
        // Arrange
        var node = new CircularLinkedListNode<string>(expected);

        // Act
        var actualData = node.Data;
        var actualNext = node.Next;

        // Assert
        Assert.Equal(expected, actualData);
        Assert.Null(actualNext);
    }
}
```

CircularLinkedListTests:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using Lab1.CircularLinkedList;
using Xunit;

namespace Lab2;

public class CircularLinkedListTests
{
    #region PremadeData

    public static IEnumerable<object[]> IntTestData => new List<object[]>
    {
        new object[] { 0 },
        new object[] { 1 },
        new object[] { -1 },
        new object[] { int.MaxValue },
        new object[] { int.MinValue },
    };

    public static IEnumerable<object[]> StringTestData => new List<object[]>
    {
        new object[] { "Паляниця" },
        new object[] { "Русский военный корабль" },
        new object[] { "European Union" },
        new object[] { "汉字" },
        new object[] { "الْعَرَبِيَّة" },
        new object[] { "🙊🤓😎□□□" },
        new object[] { "▉Ã ╬ðØ" },
    };

    public static IEnumerable<object[]> IntTwoElementsArrayTestData => new
List<object[]>
    {
        new object[] { 0, 10 },
        new object[] { 1, 11 },
```

```
        new object[] { -1, -11 },
        new object[] { int.MaxValue, int.MaxValue - 10 },
        new object[] { int.MinValue, int.MinValue + 10 },
    };

    public static IEnumerable<object[]> StringTwoElementsArrayTestData => new
List<object[]>
    {
        new object[] { "Паляниця", "Полуниця" },
        new object[] { "Русский военный корабль", "Иди" },
        new object[] { "European Union", "NATO" },
        new object[] { "汉字", "漢字" },
        new object[] { "الْعَرَبِيَّة", "الْحُرُوف" },
        new object[] { "🙊🤓😎□□□□", "□🔪🡅□□🦡" },
        new object[] { "▉Ã╬ðØ", "®ßƒ≡¾Æ" },
    };

    public static IEnumerable<object[]> IntMultipleElementsArrayTestData => new
List<object[]>
    {
        new object[] { 0, 10, 100 },
        new object[] { 1, 11, 111 },
        new object[] { -1, -11, -111 },
        new object[] { int.MaxValue, int.MaxValue - 10, int.MaxValue - 100 },
        new object[] { int.MinValue, int.MinValue + 10, int.MinValue + 100 },
    };

    public static IEnumerable<object[]> StringMultipleElementsArrayTestData => new
List<object[]>
    {
        new object[] { "Паляниця", "Полуниця", "ОлЕні, Олені" },
        new object[] { "Русский военный корабль", "Иди", "далеко" },
        new object[] { "European Union", "NATO", "IAEA" },
        new object[] { "汉字", "漢字", "ッミツテヅ" },
        new object[] { "الْعَرَبِيَّة", "الْحُرُوف", "هِجَائِي" },
        new object[] { "🙊🤓😎□□□□", "□🔪🡅□□🦡", "🐶🐭🐹🐰🦊🐻" },
        new object[] { "▉Ã╬ðØ", "®ßƒ≡¾Æ", "123456" },
    };

    #endregion PremadeData

    #region Constructors

    [Fact]
    public void Constructor_NoParameters_IntType_ReturnsCorrectValues()
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
        var expectedCount = 0;

        // Act
        var actualTail = circularLinkedList.Tail;
        var actualHead = circularLinkedList.Head;
        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualIsReadOnly = circularLinkedList.IsReadOnly;

        // Assert
        Assert.Null(actualTail);
        Assert.Null(actualHead);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.False(actualIsReadOnly);
    }

    [Fact]
    public void Constructor_NoParameters_StringType_ReturnsCorrectValues()
    {
        // Arrange
```

```
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
        var expectedCount = 0;

        // Act
        var actualTail = circularLinkedList.Tail;
        var actualHead = circularLinkedList.Head;
        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualIsReadOnly = circularLinkedList.IsReadOnly;

        // Assert
        Assert.Null(actualTail);
        Assert.Null(actualHead);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.False(actualIsReadOnly);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntTestData))]
    public void Constructor_WithParameter_IntType_ReturnsCorrectValues(int
expectedData)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 1;
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedData);

        // Act
        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
        var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

        // Assert
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.Equal(expectedData, actualHeadData);
        Assert.Equal(expectedData, actualTailData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringTestData))]
    public void Constructor_WithParameter_StringType_ReturnsCorrectValues(string
expectedData)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 1;
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedData);

        // Act
        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
        var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

        // Assert
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.Equal(expectedData, actualHeadData);
        Assert.Equal(expectedData, actualTailData);
    }

    #endregion Constructors

    #region Indexer

    #region IndexerGet

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntTestData))]
    public void IndexerGet_OneElement_IntType_ReturnsCorrectValues
        (int expectedData)
    {
        // Arrange
```

```
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedData);

    // Act
    var actualIndexData = circularLinkedList[0];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedData, actualIndexData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void IndexerGet_OneElement_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedData);

    // Act
    var actualIndexData = circularLinkedList[0];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedData, actualIndexData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void IndexerGet_DifferentElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedHead, int expectedTail)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.Add(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    var actualHeadIndexData = circularLinkedList[0];
    var actualTailIndexData = circularLinkedList[1];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadIndexData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailIndexData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void IndexerGet_DifferentElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedHead, string expectedTail)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.Add(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    var actualHeadIndexData = circularLinkedList[0];
    var actualTailIndexData = circularLinkedList[1];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadIndexData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailIndexData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void IndexerGet_OneElement_IntType_ReturnsException
    (int data)
{
    // Arrange
```

```
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(data);

    // Assert
    Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[1]);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void IndexerGet_OneElement_StringType_ReturnsException
    (string data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(data);

    // Assert
    Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[1]);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void IndexerGet_DifferentElements_IntType_ReturnsException
    (int head, int tail)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.Add(head);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Assert
    Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[2]);
    Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[3]);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void IndexerGet_DifferentElements_StringType_ReturnsException
    (string head, string tail)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.Add(head);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Assert
    Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[2]);
    Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[3]);
}

#endregion IndexerGet

#region IndexerSet

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void IndexerSet_OneElement_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int dataToChange, int expectedData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(dataToChange);

    // Act
    circularLinkedList[0] = expectedData;
    var actualIndexData = circularLinkedList[0];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedData, actualIndexData);
}
```

```
    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
    public void IndexerSet_OneElement_StringType_ReturnsCorrectValues
        (string dataToChange, string expectedData)
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(dataToChange);

        // Act
        circularLinkedList[0] = expectedData;
        var actualIndexData = circularLinkedList[0];

        // Assert
        Assert.Equal(expectedData, actualIndexData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntTestData))]
    public void IndexerSet_OneElement_IntType_ReturnsOutOfRangeException
        (int expectedData)
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();

        // Assert
        Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[0] =
expectedData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringTestData))]
    public void IndexerSet_OneElement_StringType_ReturnsOutOfRangeException
        (string expectedData)
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();

        // Assert
        Assert.Throws<ArgumentOutOfRangeException>(() => circularLinkedList[0] =
expectedData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringTestData))]
    public void IndexerSet_OneElement_StringType_ReturnsNullReferenceException
        (string data)
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(data);

        // Assert
        Assert.Throws<ArgumentNullException>(() => circularLinkedList[0] = null);
    }

    #endregion IndexerSet

    #endregion Indexer

    #region Add

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntTestData))]
    public void Add_ConstructorNoParameters_IntType_ReturnsCorrectValues
        (int expectedData)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 1;
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
```

```
    circularLinkedList.Add(expectedData);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedData, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedData, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Add_ConstructorNoParameters_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 1;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.Add(expectedData);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedData, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedData, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void Add_ConstructorWithParameter_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedHead, int expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void Add_ConstructorWithParameter_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedHead, string expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
```

```
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
}

#endregion Add

#region AddFirst

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void AddFirst_ConstructorNoParameters_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 1;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.AddFirst(expectedData);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedData, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedData, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void AddFirst_ConstructorNoParameters_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 1;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.AddFirst(expectedData);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedData, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedData, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void AddFirst_ConstructorWithParameter_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedHead, int expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedTail);
    circularLinkedList.AddFirst(expectedHead);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;
```

```
    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void AddFirst_ConstructorWithParameter_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedHead, string expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedTail);
    circularLinkedList.AddFirst(expectedHead);

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
}

#endregion AddFirst

#region AddAt

[Theory]
[MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
public void AddAt_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int head, int expectedData, int tail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 3;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();

    circularLinkedList.Add(head);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Act
    circularLinkedList.AddAt(expectedData, 1);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualData = circularLinkedList[1];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedData, actualData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
public void AddAt_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string head, string expectedData, string tail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 3;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();

    circularLinkedList.Add(head);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Act
```

```
    circularLinkedList.AddAt(expectedData, 1);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualData = circularLinkedList[1];

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedData, actualData);
}

#endregion AddAt

#region Clear

[Fact]
public void Clear_ConstructorNoParameters_IntType_ReturnsCorrectValues()
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.Clear();

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHead = circularLinkedList.Head;
    var actualTail = circularLinkedList.Tail;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Null(actualHead);
    Assert.Null(actualTail);
}

[Fact]
public void Clear_ConstructorNoParameters_StringType_ReturnsCorrectValues()
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.Clear();

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHead = circularLinkedList.Head;
    var actualTail = circularLinkedList.Tail;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Null(actualHead);
    Assert.Null(actualTail);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void Clear_ConstructorNoParameters_AddFirst_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.AddFirst(expectedData);
    circularLinkedList.Clear();

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHead = circularLinkedList.Head;
    var actualTail = circularLinkedList.Tail;
```

```
    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Null(actualHead);
    Assert.Null(actualTail);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Clear_ConstructorNoParameters_AddFirst_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.AddFirst(expectedData);
    circularLinkedList.Clear();

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHead = circularLinkedList.Head;
    var actualTail = circularLinkedList.Tail;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Null(actualHead);
    Assert.Null(actualTail);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void Clear_ConstructorNoParameters_Add_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.Add(expectedData);
    circularLinkedList.Clear();

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHead = circularLinkedList.Head;
    var actualTail = circularLinkedList.Tail;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Null(actualHead);
    Assert.Null(actualTail);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Clear_ConstructorNoParameters_Add_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedData)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.Add(expectedData);
    circularLinkedList.Clear();

    // Act
    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHead = circularLinkedList.Head;
    var actualTail = circularLinkedList.Tail;

    // Assert
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
```

```
    Assert.Null(actualHead);
    Assert.Null(actualTail);
}

#endregion Clear

#region Contains

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void Contains_NoElements_IntType_ReturnsFalse
    (int data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();

    // Act
    var actual = circularLinkedList.Contains(data);

    // Assert
    Assert.False(actual);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Contains_NoElements_StringType_ReturnsFalse
    (string data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();

    // Act
    var actual = circularLinkedList.Contains(data);

    // Assert
    Assert.False(actual);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void Contains_DifferentElements_AddFirst_IntType_ReturnsTrue
    (int data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.AddFirst(data);

    // Act
    var actual = circularLinkedList.Contains(data);

    // Assert
    Assert.True(actual);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Contains_DifferentElements_AddFirst_StringType_ReturnsTrue
    (string data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.AddFirst(data);

    // Act
    var actual = circularLinkedList.Contains(data);

    // Assert
    Assert.True(actual);
```

```
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void Contains_DifferentElements_Add_IntType_ReturnsTrue
    (int data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    circularLinkedList.Add(data);

    // Act
    var actual = circularLinkedList.Contains(data);

    // Assert
    Assert.True(actual);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Contains_DifferentElements_Add_StringType_ReturnsTrue
    (string data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
    circularLinkedList.Add(data);

    // Act
    var actual = circularLinkedList.Contains(data);

    // Assert
    Assert.True(actual);
}

[Fact]
public void Contains_NullElement_StringType_ReturnsException()
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();

    // Assert
    Assert.Throws<ArgumentNullException>(() => circularLinkedList.Contains(null));
}

#endregion Contains

#region CopyTo

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void CopyTo_DifferentElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedFirstData, int expectedSecondData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedFirstData);
    circularLinkedList.Add(expectedSecondData);

    // Act
    int[] actualArray = new int[2];
    circularLinkedList.CopyTo(actualArray, 0);

    // Assert
    Assert.Equal(circularLinkedList[0], actualArray[0]);
    Assert.Equal(circularLinkedList[1], actualArray[1]);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
```

```
public void CopyTo_DifferentElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedFirstData, string expectedSecondData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedFirstData);
    circularLinkedList.Add(expectedSecondData);

    // Act
    string[] actualArray = new string[2];
    circularLinkedList.CopyTo(actualArray, 0);

    // Assert
    Assert.Equal(circularLinkedList[0], actualArray[0]);
    Assert.Equal(circularLinkedList[1], actualArray[1]);
}

#endregion CopyTo

#region Clone

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void Clone_DifferentElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedFirstData, int expectedSecondData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedFirstData);
    circularLinkedList.Add(expectedSecondData);

    // Act
    var actual = (CircularLinkedList<int>)circularLinkedList.Clone();

    // Assert
    Assert.Equal(circularLinkedList[0], actual[0]);
    Assert.Equal(circularLinkedList[1], actual[1]);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void Clone_DifferentElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedFirstData, string expectedSecondData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedFirstData);
    circularLinkedList.Add(expectedSecondData);

    // Act
    var actual = (CircularLinkedList<string>)circularLinkedList.Clone();

    // Assert
    Assert.Equal(circularLinkedList[0], actual[0]);
    Assert.Equal(circularLinkedList[1], actual[1]);
}

#endregion Clone

#region RemoveAt

[Theory]
[MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
public void RemoveAt_RemoveHead_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int head, int expectedMiddleElement, int expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(head);
    circularLinkedList.Add(expectedMiddleElement);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);
```

```
        // Act
        circularLinkedList.RemoveAt(0);

        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
        var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

        // Assert
        Assert.DoesNotContain(head, circularLinkedList);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.Equal(expectedMiddleElement, actualHeadData);
        Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
    public void RemoveAt_RemoveHead_StringType_ReturnsCorrectValues
        (string head, string expectedMiddleElement, string expectedTail)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 2;
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(head);
        circularLinkedList.Add(expectedMiddleElement);
        circularLinkedList.Add(expectedTail);

        // Act
        circularLinkedList.RemoveAt(0);

        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
        var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

        // Assert
        Assert.DoesNotContain(head, circularLinkedList);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.Equal(expectedMiddleElement, actualHeadData);
        Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
    public void RemoveAt_RemoveMiddle_IntType_ReturnsCorrectValues
        (int expectedHead, int middleElement, int expectedTail)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 2;
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedHead);
        circularLinkedList.Add(middleElement);
        circularLinkedList.Add(expectedTail);

        // Act
        circularLinkedList.RemoveAt(1);

        var actualCount = circularLinkedList.Count;
        var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
        var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

        // Assert
        Assert.DoesNotContain(middleElement, circularLinkedList);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
        Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
        Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
    public void RemoveAt_RemoveMiddle_StringType_ReturnsCorrectValues
```

```
    (string expectedHead, string middleElement, string expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(middleElement);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAt(1);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(middleElement, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
public void RemoveAt_RemoveTail_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedHead, int expectedMiddleElement, int tail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(expectedMiddleElement);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAt(2);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(tail, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedMiddleElement, actualTailData);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
public void RemoveAt_RemoveTail_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedHead, string expectedMiddleElement, string tail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(expectedMiddleElement);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAt(2);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(tail, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
```

```
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedMiddleElement, actualTailData);
}

#endregion RemoveAt

#region Remove

[Theory]
[MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
public void Remove_MultipleElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedHead, int data, int expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(data);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    circularLinkedList.Remove(data);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(data, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
    Assert.False(circularLinkedList.Remove(data));
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
public void Remove_MultipleElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedHead, string data, string expectedTail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedHead);
    circularLinkedList.Add(data);
    circularLinkedList.Add(expectedTail);

    // Act
    circularLinkedList.Remove(data);

    var actualCount = circularLinkedList.Count;
    var actualHeadData = circularLinkedList.Head.Data;
    var actualTailData = circularLinkedList.Tail.Data;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(data, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    Assert.Equal(expectedHead, actualHeadData);
    Assert.Equal(expectedTail, actualTailData);
    Assert.False(circularLinkedList.Remove(data));
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void Remove_MultipleElements_StringType_ReturnsArgumentNullException
    (string data)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(data);
```

```
    // Assert
    Assert.Throws<ArgumentNullException>(() => circularLinkedList.Remove(null));
}

#endregion Remove

#region RemoveAll

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void RemoveAll_RemoveMiddleElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int firstElement, int secondElement)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(firstElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(firstElement);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAll(secondElement);
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(secondElement, circularLinkedList);
    Assert.Contains(firstElement, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void RemoveAll_RemoveMiddleElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string firstElement, string secondElement)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(firstElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(firstElement);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAll(secondElement);
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(secondElement, circularLinkedList);
    Assert.Contains(firstElement, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void RemoveAll_RemoveEdgeElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int firstElement, int secondElement)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(firstElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(firstElement);

    // Act
```

```
    circularLinkedList.RemoveAll(firstElement);
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(firstElement, circularLinkedList);
    Assert.Contains(secondElement, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void RemoveAll_RemoveEdgeElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string firstElement, string secondElement)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(firstElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(secondElement);
    circularLinkedList.Add(firstElement);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAll(firstElement);
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(firstElement, circularLinkedList);
    Assert.Contains(secondElement, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void RemoveAll_AllSameElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int firstElement)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(firstElement);

    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
        circularLinkedList.Add(firstElement);
    }

    // Act
    circularLinkedList.RemoveAll(firstElement);
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(firstElement, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void RemoveAll_AllSameElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string firstElement)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 0;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(firstElement);

    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
```

```
            circularLinkedList.Add(firstElement);
        }

        // Act
        circularLinkedList.RemoveAll(firstElement);
        var actualCount = circularLinkedList.Count;

        // Assert
        Assert.DoesNotContain(firstElement, circularLinkedList);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    }

    #endregion RemoveAll

    #region RemoveHead

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
    public void RemoveHead_IntType_ReturnsCorrectValues
        (int head, int middle, int tail)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 2;

        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(head);
        circularLinkedList.Add(middle);
        circularLinkedList.Add(tail);

        // Act
        circularLinkedList.RemoveHead();
        var actualCount = circularLinkedList.Count;

        // Assert
        Assert.DoesNotContain(head, circularLinkedList);
        Assert.Contains(middle, circularLinkedList);
        Assert.Contains(tail, circularLinkedList);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
    public void RemoveHead_StringType_ReturnsCorrectValues
        (string head, string middle, string tail)
    {
        // Arrange
        var expectedCount = 2;

        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(head);
        circularLinkedList.Add(middle);
        circularLinkedList.Add(tail);

        // Act
        circularLinkedList.RemoveHead();
        var actualCount = circularLinkedList.Count;

        // Assert
        Assert.DoesNotContain(head, circularLinkedList);
        Assert.Contains(middle, circularLinkedList);
        Assert.Contains(tail, circularLinkedList);
        Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
    }

    #endregion RemoveHead

    #region RemoveTail

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntMultipleElementsArrayTestData))]
```

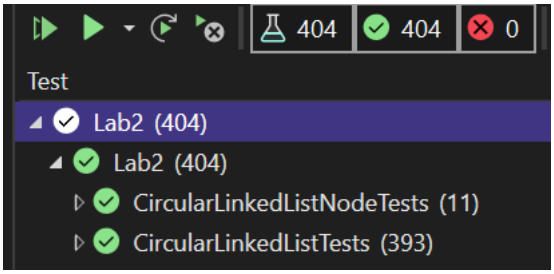
```
public void RemoveTail_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int head, int middle, int tail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(head);
    circularLinkedList.Add(middle);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveTail();
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(tail, circularLinkedList);
    Assert.Contains(head, circularLinkedList);
    Assert.Contains(middle, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringMultipleElementsArrayTestData))]
public void RemoveTail_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string head, string middle, string tail)
{
    // Arrange
    var expectedCount = 2;

    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(head);
    circularLinkedList.Add(middle);
    circularLinkedList.Add(tail);

    // Act
    circularLinkedList.RemoveTail();
    var actualCount = circularLinkedList.Count;

    // Assert
    Assert.DoesNotContain(tail, circularLinkedList);
    Assert.Contains(head, circularLinkedList);
    Assert.Contains(middle, circularLinkedList);
    Assert.Equal(expectedCount, actualCount);
}

#endregion RemoveHead

#region GetEnumerator

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTestData))]
public void GetEnumerator_OneElement_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedData);

    // Assert
    foreach (int actual in circularLinkedList)
    {
        Assert.Equal(expectedData, actual);
    }
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTestData))]
public void GetEnumerator_OneElement_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedData)
{
```

```
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedData);

    // Assert
    foreach (string actual in circularLinkedList)
    {
        Assert.Equal(expectedData, actual);
    }
}

[Theory]
[MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
public void GetEnumerator_DifferentElements_IntType_ReturnsCorrectValues
    (int expectedFirstData, int expectedSecondData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>(expectedFirstData);
    circularLinkedList.Add(expectedSecondData);

    var sequence = new int[] { expectedFirstData, expectedSecondData };
    var counter = 0;

    // Assert
    foreach (int actual in circularLinkedList)
    {
        Assert.Equal(sequence[counter], actual);
        counter++;
    }
}

[Theory]
[MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
public void GetEnumerator_DifferentElements_StringType_ReturnsCorrectValues
    (string expectedFirstData, string expectedSecondData)
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>(expectedFirstData);
    circularLinkedList.Add(expectedSecondData);

    var sequence = new string[] { expectedFirstData, expectedSecondData };
    var counter = 0;

    // Assert
    foreach (string actual in circularLinkedList)
    {
        Assert.Equal(sequence[counter], actual);
        counter++;
    }
}

#endregion GetEnumerator

#region ToString

[Fact]
public void ToString_NoElements_IntType_ReturnsCorrectValues()
{
    // Arrange
    var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();
    var expected = "";

    // Act
    var actual = circularLinkedList.ToString();

    // Assert
    Assert.Equal(expected, actual);
}
```

```
    [Fact]
    public void ToString_NoElements_StringType_ReturnsCorrectValues()
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();
        var expected = "";

        // Act
        var actual = circularLinkedList.ToString();

        // Assert
        Assert.Equal(expected, actual);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(IntTwoElementsArrayTestData))]
    public void ToString_DifferentElements_IntType_ReturnsCorrectValues
        (int firstElement, int secondElement)
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<int>();

        circularLinkedList.AddFirst(secondElement);
        circularLinkedList.AddFirst(firstElement);

        var firstPart = $"{ firstElement + Environment.NewLine + Environment.NewLine
}";
        var secondPart = $"{ secondElement + Environment.NewLine + Environment.NewLine
}";

        var expected = firstPart + secondPart;

        // Act
        var actual = circularLinkedList.ToString();

        // Assert
        Assert.Equal(expected, actual);
    }

    [Theory]
    [MemberData(nameof(StringTwoElementsArrayTestData))]
    public void ToString_DifferentElements_StringType_ReturnsCorrectValues
        (string firstElement, string secondElement)
    {
        // Arrange
        var circularLinkedList = new CircularLinkedList<string>();

        circularLinkedList.AddFirst(secondElement);
        circularLinkedList.AddFirst(firstElement);

        var firstPart = $"{ firstElement + Environment.NewLine + Environment.NewLine
}";
        var secondPart = $"{ secondElement + Environment.NewLine + Environment.NewLine
}";

        var expected = firstPart + secondPart;

        // Act
        var actual = circularLinkedList.ToString();

        // Assert
        Assert.Equal(expected, actual);
    }

    #endregion ToString
}
```

Результат роботи:

```
New element added
Owner Id - 3, name - Honda and color - Black

Owner Id - 1, name - Toyota and color - Red

Owner Id - 1, name - Toyota and color - Red

Owner Id - 1, name - Toyota and color - Red

Owner Id - 2, name - Nissan and color - White

Owner Id - 3, name - Honda and color - Black


Element removed
Owner Id - 3, name - Honda and color - Black

Owner Id - 1, name - Toyota and color - Red

Owner Id - 1, name - Toyota and color - Red

Owner Id - 2, name - Nissan and color - White

Owner Id - 3, name - Honda and color - Black
```



lab1.dll	15	6,58%	213	93,42%
Lab1.CircularLinkedList	15	6,64%	211	93,36%
Lab1.CircularLinkedListNode	0	0,00%	2	100,00%

Контрольні питання:

1) Дайте визначення колекції. Наведіть типи колекцій
    a. Об’єкт, який зберігає в собі дані
    b. ArrayList, Dictionary, List
2) Наведіть основні інтерфейси, які успадковуються колекціями, та їх призначення
    a. ICollection – базовий функціонал додавання, вилучення елементів
    b. IEnumerable – перерахування
    c. ICloneable – клонування

3) Поясніть призначення паттерну «Ітератор» та його реалізацію в .Net
    a. Ітератор повертає упорядковану послідовність елементів
    b. Для цього використовуються оператор yield
4) Дані якого формату зберігаються у хеш-таблицях, словниках? Які переваги їх використання?
    a. Зберігає ключ-значення
        i. Перший – non-generic, другий – generic
5) Поясніть призначення узагальнених типів. Наведіть приклади.
    a. За допомогою них можна робити колекції з різними (навіть власними) типами. List, Dictionary
6) Поясніть призначення оператору default
    a. Повертає значення за замовченням для певного типу
7) Поясніть призначення обмежень where в узагальнених типах. Наведіть приклади
    a. Дає можливість використовувати лише певні типи (за посиланням, за значенням).
8) Поясніть сутність нумератору колекції
    a. Допомагає при переборі колекції
9) Наведіть способи опису нумератору в колекції, приклад створення власного нумератору
    a. Простий спосіб – це проходження по усіх елементах по одному та повертанню кожного з них. Якщо Вам треба більш специфічний нумератор, то є методи MoveNext, Reset і т.д.
10) Роз'ясніть сутність поняття делегата
    a. Делегати – гнучкі методи, функціонал яких можна заміняти на льоту
11) Наведіть приклад опису делегата та виклику методу, використовуючи делегат
    a.

```
private delegate void Msg();

private static void Main()
{
  Trigger();
}
```

```
private static void Trigger()
{
    Msg message;
    message = Greet;
    message();
}

private static void Greet()
{
    Console.WriteLine("Greet");
}
```

12) Наведіть склад класу делегату та поясніть, чим забезпечується контроль типів в делегатах
    a. –
13) Поясніть сутність поняття анонімного методу
    a. Анонімні типи дозволяють створити об'єкт із деяким набором властивостей без визначення класу
14) Поясніть сутність лямбда-виразу, наведіть приклади лямбда-виразів
    a. Вираз, що повертає метод
    b. x => x * x
15) Наведіть приклад опису події та генерування події
    a. Створюємо делегат (або використовуємо існуючий)
    b. Створюємо подію
    c. Викликаємо подію
16) Поясніть, яким чином виконується підписання на події та скасування підписки
    a. За допомогою «+=» та «-=»
17) Що таке модульне тестування?
    a. Написання тестів, які тестують невеличку частину коду
18) Як використовуються модульні тести?
    a. Перевіряють функціонал ПЗ
19) Назвіть вимоги до юніт-тестів
    a. Бути достовірними
    b. Не залежати від оточення, на якому вони виконуються
    c. Легко підтримуватись
    d. Легко читатися та бути простими для розуміння (навіть новий розробник повинен зрозуміти що саме тестується)

e. Дотримуватися єдиної конвенції іменування
f. Запускатися регулярно в автоматичному режимі

20) Наведіть переваги використання юніт-тестів у розробці ПЗ
    a. При подальшому написанні/зміні коду Ми можемо розуміти, що нічого не зламалося

21) Що таке рефакторінг?
    a. Покращення коду без зміни його функціоналу

22) Які метрики та засоби використовуються для оцінювання ефективності застосування юніт-тестів у проекті?
    a. ступінь покриття модульними тестами вихідного коду
    b. AxoCover

23) Що таке TDD? Назвіть переваги застосування TDD.
    a. Test Driven Development – написання коду, аби той задовольняв тести
    b. Краще розуміння функціоналу, який потрібен

24) Що таке принцип «Triple A»? Поясніть сутність його використання.
    a. Arrange-Act-Assert
    b. Упорядковування коду, для кращого розуміння тестів

25) Як використовуються в юніт-тестах класи Assert?
    a. Для перевірки тверджень

26) Що таке Mock та Stub? З якою ціллю вони використовуються в юніттестах?
    a. Mocks vs Stubs = Поведінкове тестування проти тестування стану
    b. Mocks і stubs чекають відповідь на питання: який результат?
    c. Mocks також цікавить: Як досягнуто результату?

Висновки:

Я дізнався більше інформації створення власних типів колекції та реалізації інтерфейсів, познайомився з делегатами,

подіями. Я дізнався більше інформації про тестування, його принципи, mock’и та stub’и