Uniwersytet Wrocławski
Wydział Matematyki i Informatyki
Kierunek: Informatyka

Adrian Mularczyk

Stworzenie wydajnego wzorca wstrzykiwania zależności dla złożonych grafów zależności

Praca wykonana pod kierunkiem dr. Wiktora Zychli

Wrocław, 2016

Spis treści

Streszczenie

Stworzenie wydajnego wzorca wstrzykiwania zależności dla złożonych grafów zależności

Wstrzykiwanie zależności jest to zbiór zasad projektowania oprogramowania, które umożliwiają luźne powiązania, a dzięki temu kod jest rozszerzalny i łatwiejszy w utrzymaniu. Celem tej pracy było stworzenie takiej realizacji, która będzie sprawdzała się dla złożonych grafów zależności. Aplikacja została napisana w języku C# z wykorzystaniem przestrzeni nazw Reflecion.Emit oraz jest w pełni przetestowana. W aplikacji zaproponowano dwa rozwiązania, które działają niezależnie i można ich używać naprzemiennie. Testowy wydajnościowe zostały przeprowadzone przy użyciu aplikacji, która powstała na potrzeby tej pracy. Porównano w nich 5 najbardziej popularnych i 4 najszybsze rozwiązania. Końcowe wyniki wykazały, że z obecnie dostępnych rozwiązań na rynku, moje radzi sobie najlepiej.

1 Wstęp

1.1 Cel pracy

Wstrzykiwanie zależnośc jest wzorcem projektowym, który pozwala na tworzenie kodu o luźniejszych powiązaniach, łatwiejszego w testowaniu i modyfikacji. Najbardziej popularnymi implementacjami tego wzorca w języku C# są Unity i Ninject. Niestety większość rozwiązań skupia się na zapewnieniu jak największej liczby funkcjonalności, co ma negatywne skutki jeśli chodzi o wydajność. O ile przy małej ilości zależności te czasy nie są zbyt duże, to wraz ze wzrostem zależności wydajność dość mocno daje o sobie znać. Celem niniejszej pracy magisterskiej jest stworzenie takiej implementacji tego wzorca, która będzie wydajna dla złożonych grafów zależności, ale również będzie dostarczać niezbędną funkcjonalności. Do tego celu zostaną wykorzystane mechanizmy z przestrzeni nazw Reflection.Emit. W tej pracy zostaną przedstawione dwa rozwiązania tego problemu.

1.2 Układ pracy

Poza wstępem i podsumowaniem praca składa się jeszcze z czterech rozdziałów. Pierwszy z nich opisuje idee idące za wstrzykiwaniem zależności. W kolejnym znajduje się opis teoretyczny czym jest wstrzykiwanie zależności. Następny rozdział został poświęcony moje implementacji tego wzorca. Ostatni z tych czterech rozdziałów skupia się na testach wydajnościowych, w którym porównuję moje rozwiązanie z kilkoma najbardziej popularnym i kilkoma najwydajniejszymi rozwiązaniami.

2 Odwrócenie zależności

2.1 SOLID

Na przestrzeni lat powstało bardzo dużo projektów. Część z nich była łatwiejsza w utrzymaniu, część trudniejsza. Analizując te projekty ludzie doszli do wniosku, że są pewne zasady, które powodują, że projekty rozwija się łatwiej. Te zasady zostały połączone w zbiory zasad. Najbardziej popularnych i powrzechnie stosowanym zbiorem zasad jest SOLID [5]:

- S (Single responsibility principle) - Klasa powinna mieć tylko jedną odpowiedzialność (nigdy nie powinien istnieć więcej niż jeden powód do modyfikacji klasy).
- O (Open/closed principle) - Klasy powinny być otwarte na rozszerzenia i zamknięte na modyfikacje.
- L (Liskov substitution principle) - Funkcje które używają klas bazowych, muszą być w stanie używać również obiektów klas dziedziczących po klasach bazowych, bez dokładnej znajomości tych obiektów.
- I (Interface segregation principle) - Wiele dedykowanych interfejsów jest lepsze niż jeden ogólny.
- D (Dependency inversion principle) - Wysokopoziomowe moduły nie powinny zależeć od modułów niskopoziomowych - zależności między nimi powinny wynikać z abstrakcji.

Ta praca w dużej mieże skupia się na rozwiązaniu dla zasady D - Dependency inversion principle.

2.1.1 Przykład dla zasady D

Rysynek 1 przedstawia przykład przed zastosowaniem zasady D.

```
public class Foo
{
    public void DoSomeWork()
    {
        //do some work
    }
}

public class Bar
{
    private readonly Foo _foo;

    public Bar(Foo foo)
    {
        _foo = foo;
    }

    public void DoSomething()
    {
        _foo.DoSomeWork();
    }
}
```

Rys. 1: Przykładowa klasa bez zasady D

Rysunek 2 przedstawia przykład po zastosowaniu zasady D.

```
public interface IFoo
{
    void DoSomeWork();
}

public class Foo : IFoo
{
    public void DoSomeWork()
    {
        //do some work
    }
}

public class Bar
{
    private readonly IFoo _foo;

    public Bar(IFoo foo)
    {
        _foo = foo;
    }

    public void DoSomething()
    {
        _foo.DoSomeWork();
    }
}
```

Rys. 2: Przykładowa klasa z zasadą D

Łatwo zauważyć, że teraz klasę Bar nie interesuje implementacja klasy Foo. Jest ona od niej zupełnie niezależna. Spodziewa się jedynie, że dostanie implementację interfejsu IFoo, który dostarcza metodę DoSomeWork. Dzięki takiemu podejściu w łatwy sposób można podmienić implementację interfejsu IFoo w klasie Bar. Zatem tworząc ciało metody DoSomething w klasie Bar nie przejmujemy się implementacją metody DoSomeWork, tylko skupiamy się na tym co metoda DoSomething ma faktycznie robić. Kolejną zaletą takiego podejścia jest to, że teraz łatwy sposób można przetesować metodę DoSomething - można stworzyć przykładową implementację interfejsu IFoo lub użyć mock'a (zewnętrznej biblioteki, która stworzy pozorną implementację interfejsu za nas). Wcześniej ta metoda nie mogła zostać przetestować przed ukończeniem metody DoSomeWork.

2.2 Kontenery wstrzykiwania zależności

Aby można było z powodzeniem stosować zasadę D, należy mieć miejsce gdzie możnaby zdefiniować jakiej klasy obiekt należy podstawić w miejsce interfejsu. Do tego celu używa się kontenerów wstrzykiwania zależności.
Kontenery dostarczają nam kilku funkcjonalności. Jedną z nich jest oczywiście możliwość zdefiniowania obiekt jakiej klasy należy zwrócić w miejsce konkretnego interfejsu, ale również umożliwiają stworzenie instancji obiektu konkretnej klasy lub interfejsu. Dodatkowo zapewniają sposobność do rozwiązywania zależności, czyli stworzenia obiektów od których danym obiekt zależy. Niektóre kontenery dostarzcają również mechanizmy pozwalające rozszerzyć tworzenie nowych instancji (co sprzyja osiągnięciu efektów programowania aspektowego).

3 Wstrzykiwanie zależności

3.1 Wstęp

Jest to zbiór zasad projektowania oprogramowania i wzorców, które pozwalają nam rozwijać luźno powiązany kod.
Jakiemu celowi ma służyć wstrzykiwanie zależności? Wstrzykiwanie zależnści nie jestem celem samym w sobie, raczej jest to środek do celu. Ostatecznie celem większości technik programowania jest dostarczenie jak najwydajniej działającego oprogramowania. Jednym z aspektów tego jest napisanie utrzymywalnego kodu.
O ile nie pisze się prototypu lub aplikacji, które nigdy nie mają kolejnych wersji (kończą się na wersji 1), to wkrótce będzie trzeba zająć się utrzymaniem i rozwijaniem istniejącego kodu. Aby być w stanie pracować wydajnie z takim kodem bazowym, musi on być jak najlepiej utrzymywalny.
Wstrzykiwanie zależności jest niczym więcej niż techniką, która umożliwia luźne powiązania, a luźne powiązania sprawiają, że kod jest rozszerzalny i łatwy w utrzymaniu.[2]
Wstrzykiwanie zależności może odbywać się na 3 sposoby:

- wstrzykiwanie przez konstruktor
- wstrzykiwanie przez metodę
- wstrzykiwanie przez właściwość

3.1.1 Wstrzykiwanie przez konstruktor

Jest to główny i najbardziej popularny sposób wstrzykiwania zależności. Niektóre klasy mają kilka konstruktor i atrybut "DependencyConstructor" przydaje się wtedy do oznaczenia, który z nich ma zostać wybrany przy tworzeniu nowego obiektu. Jednakże nie zawsze jest on potrzebny. W większości przypadków klasy mają tylko jeden konstruktor, a także rozwiązania przemysłowe mają logikę, która wybierze odpowiedni konstruktor (np. ten oznaczony atrybutem, albo ten co ma najwięcej parametrów, albo ten co ma najmniej parametrów). Przykład klasy z atrybutem DependencyConstructor przedstawia Rys. 3.

```
public class SampleClass
{
    [DependencyConstructor]
    public SampleClass(EmptyClass emptyClass)
    {
        EmptyClass = emptyClass;
    }

    public EmptyClass EmptyClass { get; }
}
```

Rys. 3: Przykładowa klasa z atrybutem DependencyConstructor

3.1.2 Wstrzykiwanie przez metodę

W przemysłowych rozwiązaniach to wstrzykiwanie z reguły odbywa się albo poprzez oznaczenie metody przez którą chcemy wstrzyknąć zależności odpowiednim atrybutem, albo przy rejestracji danej klasy definiujemy przez jakie metody chcemy wstrzyknąć zależności. Przykład klasy z oznaczeniem metody odpowiednim atrybutem przedstawia Rys. 4.

```
public class SampleClass
{
    [DependencyMethod]
    public void SetEmptyClass(EmptyClass emptyClass)
    {
        EmptyClass = emptyClass;
    }

    public EmptyClass EmptyClass { get; private set; }
}
```

Rys. 4: Przykładowa klasa z atrybutem DependencyMethod

3.1.3 Wstrzykiwanie przez właściwość

Tutaj podobnie jak dla wstrzykiwania przez metodę w przemysłowych rozwiązaniach to wstrzykiwanie z reguły odbywa się albo poprzez oznaczenie właściwoci przez którą chcemy wstrzyknąć zależności odpowiednim atrybutem, albo przy rejestracji danej klasy definijumey przez jakie właściwości chcemy wstrzyknąć zależności. Przykład klasy z oznaczeniem właściwości odpowiednim atrybutem przedstawia Rys. 5.

```
public class SampleClass
{
    [DependencyProperty]
    public EmptyClass EmptyClass { get; set; }
}
```

Rys. 5: Przykładowa klasa z atrybutem DependencyProperty

3.2 Implementacje przemysłowe

Na rynku jest wiele implementacji wstrzykiwania zależności. Przedstawię tutaj kilka najbardziej popularnych (według ilości pobrań z NuGet) oraz kilka najszybszych (według rankingu na stronie: http://www.palmmedia.de/Blog/2011/8/30/ioc-container-benchmark-performance-comparison). Dane zostały wzięte z dnia 21-02-2017. W nawiasie znajduje się wersja implementacji, która została użyta w testach (najnowsza na ten dzień).

Najbardziej popularne:

- Unity (4.0.1) - ponad 5.2 mln pobrań
- NInject (3.2.2) - ponad 4.0 mln pobrań
- Autofac (4.3.0) - ponad 3.7 mln pobrań
- StructureMap (4.4.3) - ponad 1.6 mln pobrań
- Windsor (3.4.0) - ponad 1.4 mln pobrań

Najszybsze:

- Grace (5.1.0)
- DryIoc (2.10.1)
- LightInject (5.0.1)
- SimpleInjector (3.3.2)

4 Implementacja

Kod źródłowy programu jest dostępnym w repozytorium pod adresem:
`https://github.com/amularczyk/NiquIoC`
Znajduje się tam również kod programu, który posłużył do wykonania testów wydajnościowych, a także ta praca napisana w języku LateX i wszystkie obrazki.

4.1 Środowisko pracy

Prac oraz wszystkie testy powstały na komputerze z parametrami:

- Intel Core i7-4720HQ (2.60GHz)
- 12 GB pamięci RAM
- Dysk SSD

Narzędzia użyte do stworzenia pracy i testów:

- System operacyjny Windows 10 Pro
- .Net Framework w wersji 4.6.1
- Visual Studio 2017 Comunnity
- MSTest
- ReSharper
- dotCover
- Dia

4.2 Wstęp

Na początku chciałbym pokrótce opisać dwie rzeczy, które są istotne dla mojego rozwiązania. Pierwszą z nich jest Microsoft Intermediate Language, a drugą przestrzeń nazw Reflection.Emit.

4.2.1 Microsoft Intermediate Language

Microsoft Intermediate Language - MSIL (w skrócie IL) to język pośredni do którego kod C# jest kompilowany. Język ten pozwala na komunikację między aplikacjami napisanymi na platformie .Net, a systemem operacyjnym. Jest on jądrem tej platformy.

4.2.2 Reflection.Emit

Przestrzeń nazw Reflection.Emit pozwala w języku C# na stworzenie ciągu operacji w języku IL, a następnie zapamiętaniu ciągu tych operacji jako delegat. Za każdym razem, gdy ten delegat zostanie wywołany, to wykona się ciąg wczeniej zdefiniowanych operacji IL.

4.3 Opis

Aplikacja składa się z 1 głównego projektu i 8 projektów na potrzeby testów. Rozwiązanie jest skomplikowana i aby mieć pewność, że działa w pełni dobrze, zostało stworzone ponad 1250 testów jednostkowych, a pokrycie kodu testami wynosi ponad 97%.

W wykonanej implementacji został stworzony interfejs IConatiner, który składa się z interfejsów zawierających niezbędne operacje, jakie powinny się znaleźć w każdym kontenerze (Rys. 6).

```
public interface IContainer : IContainerRegister, IContainerResolve, IContainerBuildUp
{
}
```

Rys. 6: Interfejs IContainer

Pierwszy z tych interfejsów to IContainerRegister (Rys. 7). Zawiera on metody służące do zarejestrowania typów w kontenerze.

```
public interface IContainerRegister
{
    IContainerMember RegisterType<T>()
        where T : class;

    IContainerMember RegisterType(Type type);

    IContainerMember RegisterType<TFrom, TTo>()
        where TTo : TFrom;

    IContainerMember RegisterType(Type typeFrom, Type typeTo);

    IContainerMember RegisterType<T>(Func<IContainerResolve, T> objectFactory)
        where T : class;

    IContainerMember RegisterType(Type type, Func<IContainerResolve, object> objectFactory);

    IContainerMember RegisterInstance<T>(T instance);
}
```

Rys. 7: Interfejs IContainerRegister

Drugi z nich to IContainerResolve (Rys. 8). Składa się on z metod odpowiedzialnych za tworzenie i zwracanie obiektów wcześniej zarejestrowanych typów.

```
public interface IContainerResolve
{
    T Resolve<T>();

    T Resolve<T>(ResolveKind resolveKind);

    object Resolve(Type type);

    object Resolve(Type type, ResolveKind resolveKind);
}
```

Rys. 8: Interfejs IContainerResolve

Ostatni z tych interfejsów to IContainerBuildUp (Rys. 9). Jego metody służą do uzupełnienia istniejącej instancji obiektu z wykorzystaniem wstrzykiwania zależności przez metodę i właściwość - są to operacje opcjonalna i nie każde przemysłowe rozwiązanie ją zawiera.

```
public interface IContainerBuildUp
{
    void BuildUp<T>(T instance);

    void BuildUp<T>(T instance, ResolveKind resolveKind);
}
```

Rys. 9: Interfejs IContainerBuildUp

Poniżej znajduje się dokładniejszy opis metod z każdego z powyższych interfejsów.

4.3.1 Register

W pierwszej i drugiej metodzie interfejsu IContainerRegister możemy zarejestrować zwykłe klasy. W trzeciej i czwartej interfejsy oraz klasy, które implementują dany interfejs lub klasy i klasy po nich dziedziczące. W piątej i szóstej metodzie rejestrujemy klasę jako fabrykę obiektów - funkcję, która ma nam zwrócić pożądany obiekt. W siódmej (ostatniej) natomiast możemy zarejestrować konkretną instancję danego typu.
W moim rozwiązaniu każdy typ może być zarejestrowany tylko raz - ponowna rejestracja tego samego typu nadpisuje istniejącą rejestrację.
Każda z tych siedmiu metod rejestracji zwraca interfejs IContainerMember (Rys. 10), który umożliwia nam zarejestrowanie danego typu z określonym menadżerem czasu życia (czyli implementacją interfejsu IObjectLifetimeManager - Rys. 11). Zostało to tak zrobione, ponieważ dla różnych przypadków biznesowych możemy potrzebować, aby

obiekt danego typu miał konkretny czas życia.

```
public interface IContainerMember
{
    void AsSingleton();

    void AsTransient();

    void AsPerThread();

    void AsPerHttpContext();

    void AsCustomObjectLifetimeManager(IObjectLifetimeManager objectLifetimeManager);
}
```

Rys. 10: Interfejs IContainerMember

Pierwsze cztery metody interfejsu IContainerMember, to wbudowane implementacje interfejsu IObjectLifetimeManager. Piąta metoda dostarcza możliwość podania przez użytkownika jego własnej implementacji tego interfejsu. W moim rozwiązaniu każdy typ domyślnie ma czas życia Transient.

Wyjaśnienie rozdajów czasu życia:

- Singleton - za każdym razem zwracany jest ten sam obiekt
- Transient - za każdym razem zwracany jest nowy obiekt
- PerThread - wewnątrz danego wątku zwracany jest ten sam obiekt, ale dla innego wątku zwracany jest nowy (inny) obiekt
- PerHttpContext - wewnątrz danego żądania Http zwracany jest ten sam obiekt, ale dla innego żądania zwracany jest nowy (inny) obiekt

W interfejsie IObjectLifetimeManager właściwość ObjectFactory służy do ustawienia funkcji, która zwraca obiekt. Metoda GetInstance służy do pobrania obiektu.
W zależności od implementacji tego interfesju, to obiekt zwracany z metody GetInstance może być zawsze taki sam, zawsze różny albo taki sam tylko dla określonych sytuacji (np. taki sam dla tego samego wątku albo tego samego żądania http).

```
public interface IObjectLifetimeManager
{
    Func<object> ObjectFactory { get; set; }

    object GetInstance();
}
```

Rys. 11: Interfejs IObjectLifetimeManager

4.3.2 Resolve

Metody interfejsu IContainerResolve, są to głównymi operacjami. Register można nazwać sercem kontenera, a Resolve mózgiem. Każda z metod tego interfejsu odpowiada za stworzenie i zwrócenie obiektu odpowiedniego typu.
W mojej pracy zaproponowałem dwa rozwiązania - PartialEmitFunction i FullEmitFunction, dlatego te metody jako parametr przyjmuje wartość enuma ResolveKind (dzięki temu w przyszłości może być ona w łatwy sposób rozszerzona o kolejne rozwiązania). W interfejsie znajdują się również metody, które nie przyjmują tego parametru - zostały one dodane na wypadek, gdy ktoś będzie zawsze korzystał tylko z jednego z rozwiązań (może ustawić je jako domyślne np. w konstruktorze).

4.3.3 BuildUp

Interfejs IContainerBuildUp to taki dodatek - gdy mamy stworzony obiekt, ale nie jest on w pełni uzupełniony, to możemy go rozbudować (używając metody z odpowiednią wartością enuma ResolveKind lub tej z wartością domyślną). Z metodami tego interfejsu są powiązane bezpośrednio dwa pojęcia - wstrzykiwanie przez metodę i wstrzykiwanie przez właściwość. Do tego celu w moim rozwiązaniu stworzyłem dwa atrybuty:

- DependencyMethod (dla metod)
- DependencyProperty (dla właściwości)

Podczas operacji BuildUp wywoływane są wszystie metody i uzupełniane są wszystkie właściwości, które mają te atrybuty. Ta operacja jest również wykonywany podczas operacji Resolve.

Warto tutaj odnotować, że ze względu na szczegóły implementacyjne tylko jedno z moich rozwiązań wspiera operację BuildUp - jest to rozwiązanie PartialEmitFunction. W rozwiązaniu FullEmitFunction ta funckonalność nie została zaimplementowana. Jest to spowodowane skomplikowaniem tego rozwiązania i małą potrzebą biznesową używania tej operacji. Jednakże w przyszłości istnieje możliwość dodania implementacji tej funkcjonalności.

W aplikacji istnieje również atrybut DependencyConstrutor. Można go użyć przy definicji konstruktora danej klasy. Obiekt każdej klasy jest tworzony przy użyciu konstruktora. Klasa może mieć kilka konstruktorów. W moim rozwiązaniu stworzyłem logikę wyboru odpowiedniego konstruktora, przy pomocy którego ma zostać stworzony obiekt. Wygląda ona następująco:

- Jeśli jest jeden konstruktor, to go wybierz.

- Jeśli jest kilka konstruktorów, to odpowiedni wybierz w poniższej kolejności:
    1. Konstruktor z atrybutem DependencyConstrutor
    2. Konstruktor z największą liczbą parametrów
- Jeśli jest kilka konstrutkrów z atrybutem DependencyConstrutor albo nie ma żadnego konstruktora z tym atrybutem i jest kilka z największą liczbą parametrów, to rzuć wyjątek.

4.4 Rozwiązanie

Stworzenie nowego obiektu zajmuje czas. Gdy graf zależności dla jakiegoś typu jest bardzo rozbudowany, to stworzenie obiektu takiego typu zajmuje dużo czasu. Proces ten można podzielić na trzy etapy:

- Uzyskanie informacji jakich typów obiekty są potrzebne do stworzenia danego obiektu.
- Stworzenie tych pomocnicznych obiektów.
- Stworzenie docelowego obiektu.

Gdy mamy rozbudowane grafy zależności, to często zdaża się, że niektóre typy się powtarzają. Zatem pewne informacje możemy uzyskać raz, a następnie je zapamiętać. Aby implementacja wzorca wstrzykiwania zależności działała wydajnie dla złożonych grafów zależności, należy jak najwięcej informacji przechowywać w pamięci podręcznej i należy to robić mądrze.
W mojej implementacji stworzyłem dwie strategie, które realizują te założenia. Pierwszy krok jest taki sam dla obu rozwiązań (uzyskanie informacji jakich typów obiekty są potrzebne do stworzenia danego obiektu), natomiast kolejne kroki już się różnią. W pierwszym rozwiązaniu, które nazwałem PartialEmitFunction całym process tworzenia nowego obiektu został rozbity na mniejsze części (docelowy obiekt jest tworzony po kawałku). Każda taka osobna część jest zapisywana w pamięci podręcznej. W drugim rozwiązaniu w pamięci podręcznej jest zapisana tylko jedna operacja. Zawiera ona listę wszystkich kroków, które są niezbędne do stworzenia docelowego obiektu. Więc finalnie docelowy obiekt jest tworzony przy pomocy jednej operacji (kroki drugi i trzeci są połączone). To rozwiązanie nazwałem FullEmitFunction.
W obu rozwiązaniach do zapamiętania kroków potrzebnych do stworzenia obiektu danego typu wykorzystałem operacje z przestrzeni nazw Reflection.Emit.

4.4.1 Krok pierwszy

Na początku algorytmu znajdujemy odpowiedni konstruktor, przy pomocy którego ma zostać stworzony nowy obiekt. Jeśli robimy to poraz pierwszy dla danego typu, to informację o tym konstruktorze zapisujemy w pamięci podręcznej. Do tego celu została użyta struktura danych Dictionary, gdzie kluczem jest typ obiektu, a wartością obiekt klasy ContainerMember (Rys. 12), w którym przechowujemy wszystkie zapamiętane informacje dla danego typu. Następnym krokiem, jest rekurencyjne wywołanie tej operacji dla wszystkich typów, których obiekty są niezbędne do stworzenia obiektu docelowego typu.
W tej operacji jest kilka wyjątków - są nimi typy zarejestrowane jako Instance albo FactoryObject. Dla pierwszego przypadku nie musimy uzyskiwać informacji o tym jak stworzyć obiekt takiego typu, ponieważ mamy już taki obiekt stworzony i go po prostu wykorzystamy. Dla drugiego przypadku obiekt tworzony jest przy użyciu wcześniej zdefiniowanej przez użytkownika funkcji, której wywołanie spowoduje stworzenie obiektu oczekiwanego typu.

Klasa ContainerMember przechowuje:

- Informacje o konstruktor, przy pomocy którego należy utworzyć obiekt danego typu.
- Informacje o parametrach tego konstruktora.
- Informacje o właciwościach danego typu (na potrzeby operacji BuildUp).
- Informacje o metodach danego typu (na potrzeby operacji BuildUp).
- Czy występuję cykl w konstruktorze.
- Przy należy zapamiętać infrmacje dla danego typu (domyślnie tak, dla typóW zarejestrowanych jako Instance albo ObjectFactory - nie).
- Zarejestrowany typ (ta sama wartoć, co klucz ze słownika).
- Zwracany typ.
- Informacje o menadżerze cyklu życia.

```
internal class ContainerMember : IContainerMemberPrivate
{
    public ContainerMember(IObjectLifetimeManager objectLifetimeManager)...

    internal ConstructorInfo Constructor { get; set; }

    internal List<ParameterInfo> Parameters { get; set; }

    internal List<PropertyInfo> PropertiesInfo { get; set; }

    internal List<MethodInfo> MethodsInfo { get; set; }

    internal bool? IsCycleInConstructor { get; set; }

    internal bool ShouldCreateCache { get; set; }

    #region IContainerMemberPrivate

    public Type RegisteredType { get; set; }

    public Type ReturnType { get; set; }

    public IObjectLifetimeManager ObjectLifetimeManager { get; private set; }

    #endregion IContainerMemberPrivate

    IContainerMember
}
```

Rys. 12: Klasa ContainerMember

4.4.2 Rozwiązanie 1 - PartialEmitFunction

Cały algorytm jest zawarty w metodzie Resolve (Rys. 13). Sama ta metoda jest dość krótka, ale wywołuje ona kolejne metody (które już są dłuższe).
Docelowy obiekt jest tworzony przy pomocy funkcji. Na początku sprawdzamy, czy już wcześniej utworzyliśmy taką funkcję (jeśli tak, będzie on zapisany w klasie ContainerMember we właściwoci ObjectLifetimeManager). Wywołanie funkcji kończy działanie algorytmu. Jeśli funkcja nie została jeszcze wcześniej utworzona, to ją tworzymy. Funkcja ta nie przyjmuje żadnych parametrów, a jej typem wynikowym jest obiekt. Ciało tej funkcji jest bardzo proste - po prostu ma ona wykonać metodę i zwrócić jej rezultat, którym jest nasz docelowy obiekt.

```
public object Resolve(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    if (containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory == null)
    {
        containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory =
            () => GetObject(containerMember, afterObjectCreate);
    }

    return containerMember.ObjectLifetimeManager.GetInstance();
}
```

Rys. 13: Metoda Resolve klasy PartialEmitFunction

Metoda GetObject (Rys. 14) jest trochę bardziej rozbudowana. Na początku pobieramy informacje o parametrach konstruktora danego typu. Następnie dla każdego z tych parametrów tworzymy obiekt (o docelowym typie) przy pomocy funkcji Resolve (opisanej wyżej). Korzystamy tutaj z rekurencji. Gdy już mamy stworzone obiekty dla każdego z parametrów konstruktora, to listę tych parametrów przekazujemy do metody CreateInstanceFunction, która zwróci nam instancję obiektu oczekiwanego typu. Na koniec wywołujemy callback afterObjectCreate i zwracamy nasz obiekt.

```
private object GetObject(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    var ctorParameters = containerMember.Parameters;
    var ctorParametersCount = ctorParameters.Count;

    var parameters = new object[ctorParametersCount];
    for (var i = 0; i < ctorParametersCount; i++)
    {
        var parameterContainerMember =
            _registeredTypesCache.GetValue(ctorParameters[i].ParameterType);
        parameters[i] = Resolve(parameterContainerMember, afterObjectCreate);
    }

    var obj = CreateInstanceFunction(containerMember, parameters);
    afterObjectCreate(obj, containerMember);

    return obj;
}
```

Rys. 14: Metoda GetObject klasy PartialEmitFunction

Na początku metody CreateInstanceFunction (Rys. 15) sprawdzamy, czy mamy utworzoną funkcję, która umie zwrócić obiekt docelowego typu. Jeśli tak, to przy pomocy tej funkcji tworzymy obiekt i go zwracamy. Ta funckja jako argument przyjmuje listę obiektów w kolejności zgodnej z listą parametrów konstruktora. Jeśli nie, to przy pomocy metody CreateObjectFunction tworzymy taką funkcję, a następnie zapisujemy ją w pamięci podręcznej (również w strukturze Dictionary, której kluczem jest type, a

wartością jest funkcja).

```
private object CreateInstanceFunction(ContainerMember containerMember, object[] parameters)
{
    if (!_createPartialEmitFunctionForConstructorCache.ContainsKey(
        containerMember.ReturnType))
    {
        var factoryMethod = CreateObjectFunction(containerMember);
        _createPartialEmitFunctionForConstructorCache.Add(
            containerMember.ReturnType, factoryMethod);
    }

    var obj =
        _createPartialEmitFunctionForConstructorCache[containerMember.ReturnType](
            parameters);

    return obj;
}
```

Rys. 15: Metoda CreateInstanceFunction klasy PartialEmitFunction

CreateObjectFunction (Rys. 16) jest najbardziej zaawansowaną metodą w tym algorytmie. To w niej korzystamy z metod z przestrzeni nazw Reflection.Emit.
Na początku pobieramy informacje o konstruktorze. Następnie tworzymy DynamicMethod i z niej pobieramy ILGenerator. W nim będziemy przechowywać listę kroków niezbędnych do utworzenia docelowego obiektu.
Dla każdego z parametrów konstruktora wykonujemy następujące operacje:

1. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu pierwszy parametr (będzie nim lista obiektów zgodna z parametrami konstruktora).
2. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu indeks parametru (który to jest parametr z kolei).
3. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie ze szczytu stosu listę i indeks, a umieści na jego szczycie element znajdujący się pod danym indeksem na liście.
4. Pobieramy typ parametru.
5. Dodaj do listy kroków operację, która zrzutuje obiekt ze szczytu stosu na odpowiedni typ.

Po wykonaniu kroków z listy na stosie będziemy mieli wszystkie obiekty, które są wymagane przez konstruktor do utworzenia danego typu. Teraz więc do listy kroków dodajemy operację, która stworzy obiekty przy pomocy danego konstruktora i umieści go na szczycie stosu. Na koniec dodajemy krok, który zwróci nam obiekt ze szczytu stosu.
Wszystkie kroki niezbędne do stworzenia nowego elementu są zapisane w zmiennej

typu DynamicMethod. Jako ostatnią operację w metodzie CreateObjectFunction, ze zmiennej typu DynamicMethod, tworzymy i zwracamy delegata, który jako parametr będzie przyjmował tablicę obiektów (nasza lista obiektów zgodna z parametrami konstruktora), a zwracał obiekt (nasz docelowy obiekt).

```
private static Func<object[], object> CreateObjectFunction(ContainerMember containerMember)
{
    var ctor = containerMember.Constructor;
    var dm = new DynamicMethod($"Create_{ctor.DeclaringType?.FullName.Replace('.', '_')}",
        typeof(object), new[] {typeof(object[])}, true);
    var ilgen = dm.GetILGenerator();

    var parameters = ctor.GetParameters();
    for (var i = 0; i < parameters.Length; i++)
    {
        ilgen.Emit(OpCodes.Ldarg_0);
        EmitHelper.EmitIntOntoStack(ilgen, i);
        ilgen.Emit(OpCodes.Ldelem_Ref);
        var paramType = parameters[i].ParameterType;
        ilgen.Emit(
            paramType.IsValueType ? OpCodes.Unbox_Any : OpCodes.Castclass,
            paramType);
    }
    ilgen.Emit(OpCodes.Newobj, ctor);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ret);

    return (Func<object[], object>) dm.CreateDelegate(typeof(Func<object[], object>));
}
```

Rys. 16: Metoda CreateObjectFunction klasy PartialEmitFunction

4.4.3 Rozwiązanie 2 - FullEmitFunction

Tutaj podobnie jak dla PartialEmitFunction cały algorytm zawarty jest w metodzie Resolve (Rys. 17). Wygląda ona identycznie jak w rozwiązaniu 1 - docelowy obiekt jest tworzony przy pomocy funkcji, która woła w sobie metodę GetObject. Jeśli funkcji nie ma w zapisanej w pamięci, to ją tworzymy i zapisuje. Na końcu ją wywołujemy.

```
public object Resolve(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    if (containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory == null)
    {
        containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory =
            () => GetObject(containerMember, afterObjectCreate);
    }

    return containerMember.ObjectLifetimeManager.GetInstance();
}
```

Rys. 17: Metoda Resolve klasy FullEmitFunction

Metoda GetObject (Rys. 18) wygląda trochę inaczej. Nie pobieramy tutaj żadnych dodatkowych informacji, tylko od razu wywołujemy metodę CreateInstanceFunction, która zwróci nam instancję obiektu oczekiwanego typu. Na koniec również wywołujemy callback afterObjectCreate i zwracamy nasz obiekt.

```
private object GetObject(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    var obj = CreateInstanceFunction(containerMember);
    afterObjectCreate(obj, containerMember);

    return obj;
}
```

Rys. 18: Metoda GetObject klasy FullEmitFunction

CreateInstanceFunction (Rys. 19) ma jeden dodatkowy krok względem rozwiązania 1. Na początku również sprawdzamy, czy mamy utworzoną funkcję, która umie zwrócić obiekt docelowego typu. Jeśli nie, to przy pomocy metody CreateObjectFunction tworzymy taką funkcję, a następnie zapisujemy ją w pamięci podręcznej (również w strukturze Dictionary, której kluczem jest type, a wartością jest typ pomocniczy FullEmitFunctionResult, który ma tylko jedną właściwość - Result typu funkcja). Następnym krokiem jest zwalidowanie zapisanych danych dla typów przy pomocy metody ValidateTypesCache. Na końcu funkcji tworzymy obiekt i go zwracamy. Tutaj funckja jako argument przyjmuje dwa słowniki. Pierwszy zawiera informacje o typie (kluczem jest typ, a wartością obiekt ContainerMember), a drugi informacje o indeksie typu (kluczem jest liczba oznaczając hasz danego typu, a wartością typ).
Najpierw opiszę metodę ValidateTypesCache, ponieważ nie wywołuje ona w sobie żadnej innej metody.

```
private object CreateInstanceFunction(ContainerMember containerMember)
{
    if (!_createFullEmitFunctionForConstructorCache.ContainsKey(containerMember.ReturnType))
    {
        var factoryMethod = CreateObjectFunction(containerMember, _registeredTypesCache);
        _createFullEmitFunctionForConstructorCache.Add(
            containerMember.ReturnType, factoryMethod);
    }

    ValidateTypesCache();

    var obj =
        _createFullEmitFunctionForConstructorCache[containerMember.ReturnType]
            .Result(_registeredTypesCache, _typesIndexCache);

    return obj;
}
```

Rys. 19: Metoda CreateInstanceFunction klasy FullEmitFunction

W pierwszym kroku metody ValidateTypesCache sprawdzamy (Rys. 20), czy od ostatniego zapisywania danych o typach w pamięci podręcznej jakiś typ został zarejestorwany w kontenerze (lub czy jest to pierwsze zapisanie tych danych). Jeśli tak, to tworzymy z zarejestrowanych typów tworzymy słownik, w którym kluczem jest hasz typu, a wartością typ. Potem aktualizujemy liczbę aktualnie zarejestrowanych typów.

```
private void ValidateTypesCache()
{
    var registeredTypesCacheCount = _registeredTypesCache.Count;
    if (_registeredTypesCacheCount != registeredTypesCacheCount)
    {
        _typesIndexCache =
            _registeredTypesCache.ToDictionary(k => k.Value.GetHashCode(), v => v.Key);
        _registeredTypesCacheCount = registeredTypesCacheCount;
    }
}
```

Rys. 20: Metoda ValidateTypesCache klasy FullEmitFunction

Metoda CreateObjectFunction (Rys. 21) jest dużo bardziej rozbudowana niż w rozwiązaniu 1. W niej również korzystamy z metod z przestrzeni nazw Reflection.Emit.
Na początku tworzymy DynamicMethod i z niej pobieramy ILGenerator, w którym będziemy przechowywać listę kroków niezbędnych do utworzenia docelowego obiektu. Dla każdego z parametrów konstruktora wywołujemy metodę CreateObjectFunctionPrivate, która uzupełni listę kroków o tworzenie pośrednich obiektów. To w tym miejscu jest główna różnica między oboma rozwiązaniami - w pierwszym rozwiązaniu w liście kroków nie przejmowaliśmy się utworzeniem pośrednich obiektów, ponieważ przychodziły one jako parametr. W tym rozwiązaniu lista kroków będzie również zawierać kroki do utworzenia wszystkich obiektów pośrednich (obiektów wymaganych

przez konstruktory).
Dalsze operacje są takie same jak w rozwiązaniu 1 - do listy kroków dodajemy operację, która stworzy obiekty przy pomocy danego konstruktora i umieści go na szczycie stosu, a następnie dodajemy operację, który zwróci nam obiekt ze szczytu stosu.
Na końcu ze zmiennej typu DynamicMethod tworzymy delegata i go zwracamy. Delegat będzie przyjmował dwa parametry - oba typu Dictionaty. Jeden z informacjami o type, a drugi z informacjiami o indeksie typu.

```
private FullEmitFunctionResult CreateObjectFunction(ContainerMember containerMember,
    IReadOnlyDictionary<Type, ContainerMember> registeredTypesCache)
{
    var dm = new DynamicMethod(
        $"Create_{containerMember.Constructor.DeclaringType?.FullName.Replace('.', '_')}",
        typeof(object),
        new[] {typeof(Dictionary<Type, ContainerMember>), typeof(Dictionary<int, Type>)},
        typeof(Container).Module, true);
    var ilgen = dm.GetILGenerator();

    foreach (var parameter in containerMember.Parameters)
    {
        CreateObjectFunctionPrivate(parameter.ParameterType, registeredTypesCache, ilgen,
            new Dictionary<Type, LocalBuilder>());
    }
    ilgen.Emit(OpCodes.Newobj, containerMember.Constructor);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ret);

    var func = dm.CreateDelegate(
        typeof(Func<Dictionary<Type, ContainerMember>, Dictionary<int, Type>, object>));
    return new FullEmitFunctionResult
    {
        Result =
            (Func<Dictionary<Type, ContainerMember>, Dictionary<int, Type>, object>)func
    };
}
```

Rys. 21: Metoda CreateObjectFunction klasy FullEmitFunction

W metodzie CreateObjectFunctionPrivate (Rys. 22) mamy trzy przypadki. W pierwszych dwóch przypadkach pomijamy obiekty, które zostały zarejestrowane jako Instance albo FactoryObject (określa to parametr ShouldCreateCache z obiektu typu ContainerMember).

```
private void CreateObjectFunctionPrivate(Type type,
    IReadOnlyDictionary<Type, ContainerMember> registeredTypesCache, ILGenerator ilgen,
    IDictionary<Type, LocalBuilder> localSingletons)
{
    var containerMember = registeredTypesCache.GetValue(type);

    if (IsTransient(containerMember) && containerMember.ShouldCreateCache)
    {
        foreach (var parameter in containerMember.Parameters)
        {
            CreateObjectFunctionPrivate(parameter.ParameterType, registeredTypesCache,
                ilgen, localSingletons);
        }

        ilgen.Emit(OpCodes.Newobj, containerMember.Constructor);
    }
    else if (IsSingleton(containerMember) && containerMember.ShouldCreateCache)
    {
        if (localSingletons.ContainsKey(type))
        {
            ilgen.Emit(OpCodes.Ldloc, localSingletons[type]);
        }
        else
        {
            var localSingleton = ilgen.DeclareLocal(type);
            localSingletons.Add(type, localSingleton);

            AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager(type, ilgen, containerMember);

            var localVariable = localSingletons[type];
            ilgen.Emit(OpCodes.Stloc, localVariable);
            ilgen.Emit(OpCodes.Ldloc, localVariable);
        }
    }
    else
    {
        AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager(type, ilgen, containerMember);
    }
}
```

Rys. 22: Metoda CreateObjectFunctionPrivate klasy FullEmitFunction

Pierwszy przypadek, to gdy typ został zarejestrowany jako Transient - Rys. 23. Wtedy dla każdego z parametrów konstruktora wywołujemy rekurencyjnie tę metodę (Create-ObjectFunctionPrivate), a na koniec do listy kroków dodajemy operację, która stworzy obiekty przy pomocy danego konstruktora i umieści go na szczycie stosu.

```
private static bool IsTransient(ContainerMember containerMember)
{
    return containerMember.ObjectLifetimeManager is TransientObjectLifetimeManager;
}
```

Rys. 23: Metoda IsTransient klasy FullEmitFunction

W drugim przypadeku typ musi być singletonem (został on zarejestrowany jako Singleton, PerThread lub PerHttpContext) - Rys. 24. Na początku sprawdzamy czy już wcześniej natrafiliśmy na ten typ. Jeśli tak, to z pamięci podręcznej pobieramy zmienną lokalną dla danego typu, a następnie do listy kroków dodajemy operację, która doda na szczyt stosu obiekt z tej zmiennej. Jeśli nie, to najpierw tworzymy nową zmienną lokalną dla danego typu i zapisuje ją w pamięci podręcznej (wykorzystujemy do tego słownik, gdzie kluczem jest typ, a wartością obiekt typu LocalBuilder). Następnie wywołujemy metodę AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager. Na końcu dodajemy dwie operacje. Pierwsza z nich zdejmie obiekt ze szczytu stosu i zapisze go w zmiennej lokalnej, a druga umieści na szczycie stosu obiekt z tej zmiennej lokalnej. Jest to po to, ponieważ na szczycie stosu chcemy mieć dany obiekt, ale również chcemy zapamiętać sobie dany obiekt, aby nie trzeba było go tworzyć, jeśli będzie potrzebny poraz drugi (obiekt jest singletonem, więc za każdym razem będziemy chcieli mieć ten sam obiekt - w kontekście tworzenia danego typu, czyli jednej operacji Resolve).

```
private static bool IsSingleton(ContainerMember containerMember)
{
    return containerMember.ObjectLifetimeManager is SingletonObjectLifetimeManager ||
           containerMember.ObjectLifetimeManager is ThreadObjectLifetimeManager ||
           containerMember.ObjectLifetimeManager is HttpContextObjectLifetimeManager;
}
```

Rys. 24: Metoda IsSingleton klasy FullEmitFunction

Metoda AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager (Rys. 25), za wyjątkiem pierwszej operacji jaką jest stworzenie zmiennej lokalnej typu Type, zawiera jedynie operacje, które dodają kolejne pozycje do listy kroków:

1. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu drugi parametr (będzie nim słownik z indeksami typów).
2. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu hasz danego typu.
3. Dodaj do listy kroków operację, która pobierze ze szczytu stosu słownik i indeks, a umieści na jego szczycie element znajdujący się pod danym kluczem w słowniku.
4. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie obiekt ze szczytu stosu i zapisze go w zmiennej lokalnej.
5. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu pierwszy parametr (będzie nim słownik z informacjami o typach).
6. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu obiekt ze zmiennej lokalnej.

7. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie ze szczytu stosu słownik i typ, a umieści na jego szczycie element znajdujący się pod danym kluczem w słowniku.
8. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie obiekt ze szczytu stosu (będzie to obiekt typu ContainerMember), wywoła na nim metodę, która zwróci menadżer czasu życia obiektu i na szczycie stosu umieści rezultat tej metody.
9. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie obiekt ze szczytu stosu (będzie to obiekt typu IObjectLifeTimeManager), wywoła na nim metodę, która zwróci instancję obiektu i na szczycie stosu umieści rezultat tej metody.
10. Dodaj do listy kroków operację, która zrzutuje obiekt ze szczytu stosu na odpowiedni typ.

Po wykonaniu tych 10 operacji na szczycie stosu znajdzie się obiekt danego typu utworzony przy pomocy menadżera czasu życia.

```
private void AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager(Type type, ILGenerator ilgen,
    ContainerMember containerMember)
{
    if (containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory == null)
    {
        containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory =
            () => CreateInstanceFunction(containerMember);
    }

    var localTypeVariable = ilgen.DeclareLocal(typeof(Type));
    ilgen.Emit(OpCodes.Ldarg_1);
    EmitHelper.EmitIntOntoStack(ilgen, containerMember.GetHashCode());
    ilgen.Emit(OpCodes.Call, typeof(Dictionary<int, Type>).GetMethod("get_Item"));
    ilgen.Emit(OpCodes.Stloc, localTypeVariable);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ldarg_0);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ldloc, localTypeVariable);
    ilgen.Emit(OpCodes.Call,
        typeof(Dictionary<Type, ContainerMember>).GetMethod("get_Item"));
    ilgen.Emit(OpCodes.Call,
        typeof(ContainerMember).GetMethod("get_ObjectLifetimeManager", Type.EmptyTypes));
    ilgen.Emit(OpCodes.Call,
        typeof(IObjectLifetimeManager).GetMethod("GetInstance", Type.EmptyTypes));
    ilgen.Emit(type.IsValueType ? OpCodes.Unbox_Any : OpCodes.Castclass, type);
}
```

Rys. 25: Metoda AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager klasy FullEmitFunction

Trzeci przypadek zachodzi gdy typ został zarejestrowany jako Instance, FactoryObject lub przy pomocy własnego menadżera czasu życia (implementacji interfejsu IObjectLifetimeManager). W tej sytuacji wywołujemy po prostu metodę AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager.

5 Testy wydajnościowe

Do przeprowadzania testów wydajnościowych stworzyłem osobną aplikację w której utworzyłem 4 przypadki testowe:

- Przypadek testowy A,
- Przypadek testowy B,
- Przypadek testowy C,
- Przypadek testowy D.

Dla każdego z przypadków sprawdzany jest czas wykoniania operacji "Register" i "Resolve" dla różnych rodzajów rejestracji. Testy zostały wykonane dla następujących wariantów rejestracji:

- Register as Singleton,
- Register as Transient,
- Register as TransientSingleton,
- Register as PerThread (dla niektórych przemysłowych rozwiązań - PerScope),
- Register as FactoryMethod.

Każdy z testów dla każdego rozwiązania był uruchamiany w osobnym procesie. Najpierw zostaną zaprezentowane czasy dla operacji "Register" dla wszystkich rozdajów rejestracji, a następnie dla każdego z rodzaju czasy dla operacji "Resolve". Wynika to z tego, że czasy dla rejestracji są prawie zawsze zbliżone do 0. Ze względu na nieduży narzut czasu, te testy zostały uruchamiane tylko 1 raz. Przy operacji "Resolve" każdy test był uruchamiany 100 razy, a w wynikach zostały przedstawione następujące czasy w milisekundach: minimalny, maksymalny i średni. Dla pierwszych trzech przypadków testy były wykonywane dla: 1, 10, 100 i 1000 powtórzeń, a dla ostatniego przypadku dla: 1 i 10 powtórzeń. Spowodowane jest to ilością obiektów, które są tworzone jednorazowo dla poszczególnych przypadków testowych.

5.0.1 Register as Singleton

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Singleton", czyli obiekt jest tworzony raz, a następnie cały czas zwracany.

5.0.2 Register as Transient

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Transient", czyli za każdym razem jest tworzony nowy obiekt.

5.0.3 Register as TransientSingleton

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Transient" za wyjątkiem typów, które maja konstruktor bezparametrowy - są one zarejestrowane jako "Singleton".

5.0.4 Register as PerThread

Każdy typ jest zarejestrowany jako "PerThread", czyli obiekt jest tworzony raz dla każdego wątku, a następnie w obrębie tego wątku cały czas zwracany.

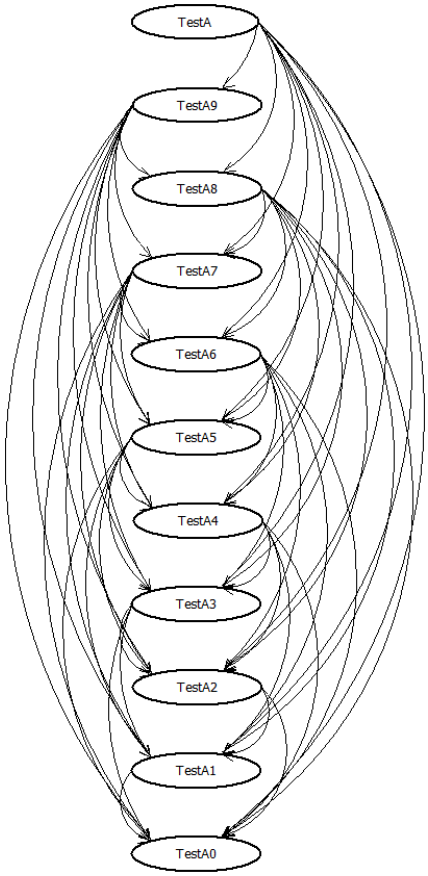
5.0.5 Register as FactoryMethod

Typ główny jest zarejestrowany jako "FactoryMethod", czyli jako funkcja, która zwraca nam obiekt danego typu. Obiekty pozostałych typów są tworzone wewnątrz tej funkcji za pomocą "new".

5.1 Przypadek testowy A

5.1.1 Opis

W tym teście mamy zdefiniowanych 11 typów. Każdy z nich przymuje w konstruktorze o jeden parametr mniej niż typ poprzedni (czyli przyjmują one kolejno od 10 do 0 parametrów w konstruktorze). Typem głównym, a zarazem typem o największej liczbie parametrów, jest typ "TestA". Przyjmuje on w konstruktorze 10 parametrów następujących typów: "TestA0", "TestA1", "TestA2", "TestA3", "TestA4", "TestA5", "TestA6", "TestA7", "TestA8", "TestA9". Każdy z tych 10 typów w konstruktorze przyjmuje tyle parametrów, jaki ma numerek w nazwie (czyli obiekt typu "TestA0" ma konstruktore bezparametrowy, obiekt typy "TestA1" ma konstuktor z jednym parametrem; i tak dalej aż do typu "TestA9", który ma konstruktor z dziewięcioma parametrami). Wszystkie typy jako parametry w konstruktorze przyjmuje obiekty typów z niższymi numerkami (czyli obiekt typu "TestA1" w konstruktorze przyjmuje obiekt typu "TestA0", obiekt typu "TestA2" przymuje w konstruktorze obiekty typóW "TestA0" i "TestA1"; i tak dalej aż do typu "TestA9", który w konstruktorze przyjmuje obiekty z typami od "TestA0" do "TestA8"). Graf zależności poszczególnych typów został przedstawiony na Rys. 26.



Rys. 26: Graf zależności dla testu A.

Łatwo z niego wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów ilość tworzonych obiektów rośnie dwukrotnie:

- TestA0 - 1 obiekt,
- TestA1 - 2 obiekty (obiekt typu TestA1 i obiekt typu TestA0),
- TestA2 - 4 obiekty (obiekt typu TestA2, obiekt typu TestA1 - 2 obiekty, obiekt typu TestA0 - 1 obiekt),
- TestA3 - 8 obiektów (obiekt typu TestA3, obiekt typu TestA2 - 4 obiekty, obiekt typu TestA1 - 2 obiekty, obiekt typu TestA0 - 1 obiekt),
- TestA4 - 16 obiektów,
- TestA5 - 32 obiektów,
- TestA6 - 64 obiektów,
- TestA7 - 128 obiektów,
- TestA8 - 256 obiektów,

- TestA9 - 512 obiektów,
- TestA - 1 024 obiektów.

Zatem tworząc nasz główny obiekt typu TestA, tworzymy: 1 obiekt typu TestA, 1 obiekt typu TestA9, 2 obiekty typu TestA8, 4 obiekty typu TestA7, 8 obiektów typu TestA6, 16 obiektów typu TestA5, 32 obiektów typu TestA4, 64 obiektów typu TestA3, 128 obiektów typu TestA2, 256 obiektów typu TestA1 i 512 obiektów typu TestA0 - co w sumie daje 1024 obiekty.

5.1.2 Wyniki dla Register

Test	Singleton	Transient	TransientSingleton	PerThread
Autofac	0	0	0	0
DryIoc	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0
LightInject	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0
StructureMap	0	0	0	0
Unity	0	0	0	0
Windsor	0	0	0	0

Tab. 1: Wyniki testów dla operacji Register dla Przypadku testowego A

Dla każdego z rozwiązań, dla wszystkich testów w tym przypadku testowym, czasy rejestracji są równe 0, czyli poniżej 1 ms.

5.1.3 Wyniki dla Singleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Grace	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2
LightInject	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Ninject	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	7	6
NiquIoCPartial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NiquIoCFull	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
SimpleInjector	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
StructureMap	9	10	9	9	10	9	9	10	9	10	11	10
Unity	7	8	7	7	8	7	7	8	7	8	8	8
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 2: Wyniki testów dla operacji Singleton dla Przypadku testowego A

Dla tego testu najlepiej poradziły sobie dwa z najpopularniejszych rozwiązania - Aurofac i Windsor. Rozwiązanie NiquIoCPartial uplasowało się na 3 miejscu. Najsłabiej poradził sobie pozostałe najpopularniejsze rozwiązania: Ninject, Unity oraz StructureMap. Reszta rozwiązań miała zbliżone czasy - dwukrotnie większe niż NiquIoCPartial i trzykrotnie mniejsze niż Ninject.

5.1.4 Wyniki dla Transient

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	6	7	6	58	63	59	584	609	587
DryIoc	14	14	14	14	15	15	16	16	16	29	30	29
Grace	15	16	15	15	16	16	18	19	18	37	38	37
LightInject	10	10	10	10	10	10	11	12	11	19	20	19
Ninject	10	12	11	88	95	90	864	1035	882	8745	9610	8934
NiquIoCPartial	1	1	1	3	3	3	19	22	19	171	198	173
NiquIoCFull	8	9	8	8	9	8	9	10	9	18	19	18
SimpleInjector	13	14	13	13	14	14	15	15	15	28	30	29
StructureMap	10	10	10	13	14	14	53	55	54	414	457	417
Unity	8	9	8	16	17	16	88	91	88	803	961	813
Windsor	1	2	1	16	21	16	152	192	155	1511	1799	1529

Tab. 3: Wyniki testów dla operacji Transient dla Przypadku testowego A

W tym teście jest już spora rozbieżność czasów. Gdy mamy tylko 1 operację najlepiej radzi sobie Autofac, a zaraz za nim NiquIoCPartial i Windsor. Najsłabiej natomiast SimplyInjector, DryIoc i Grace. Pozostałe rozwiązania wypadły przeciętnie i bliżej im było do czasów najgorszych, niż najlepszych.

Dla 10 operacji sytuacja zaczyna się lekko zmieniać. Tym razem znacząco najlepiej radzi sobie NiquIoCPartial - ponad dwa razy lepiej niż drugi Autofac. Kolejne miejsca należą do NiquIoCFull i LightInject. Pozostałe rozwiązania miały podobne, trochę słabsze czasy. Wyjątkiem jest jedynie Ninject, który poradził sobie najgorzej i jego czas jest ponad 5 razy większy niż dla rozwiązania z przedostatnim czasem (Windsor).
Przy 100 operacji na prowadzenie wysunęły się mniej popularne rozwiązania. Na pierwszym miejscu jest NiquIoCFull, a kolejne miejsca to LightInject i SimpleInjector. DryIoc, Grace oraz NiquIoCPartial wypadły akceptowalnie - poradziły sobie trochę gorzej niż trzeci SimpleInjector. Do grona najsłabszych (Unity, Windsor, Ninject) w tym przypadku dołączył również Autofac, który z drugiego miejsca spadł na ósme. StructureMap miał czasy tylko trochę lepszy niż Autofac.
Natomiast dla 1000 operacji od czołówki oddalił się NiquIoCPartial. Na pierwszym miejscu wciąż pozostaje NiquIoCFull, a zaraz za nim LightInject i SimpleInjector. DryIoc i Grace wciąż tochę słabiej, ale nadal zadowalająco. Pozostałe rozwiązania mają czasy od kilku do kilkunastu razy gorsze niż reszta. Bez cienia wątpliwości najgorzej wypadł Ninjec.
Warto tutaj zaznaczyć, że wraz ze wzrostem operacji najmniejszy wzorst czasów miały rozwiązania: LightInject, NiquIoCFull, SimpleInjector, DryIoc oraz Grace.

5.1.5 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	6	7	6	53	62	54	531	561	535
DryIoc	18	19	18	19	19	19	20	21	20	31	32	32
Grace	9	10	10	10	10	10	10	11	11	18	19	18
LightInject	14	15	14	14	14	14	14	15	15	20	21	20
Ninject	9	10	10	65	82	67	626	743	641	6297	7218	6463
NiquIoCPartial	1	1	1	2	3	2	14	15	14	120	123	121
NiquIoCFull	5	6	5	5	6	5	6	6	6	10	12	11
SimpleInjector	9	9	9	9	10	9	10	11	10	17	19	17
StructureMap	9	10	10	12	12	12	35	40	36	252	306	256
Unity	8	9	8	14	15	14	73	82	74	659	753	663
Windsor	1	2	1	12	14	12	117	140	119	1161	1302	1177

Tab. 4: Wyniki testów dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego A

Przy tym teście dla 1 operacji również najlepiej poradziły sobie Autofac, NiquIoCPartial i Windsor. Trochę gorzej NiquIoCFull. Czasy dla Unity, SimpleInjector, Grace, StructureMap i Ninject są zbliżone, jednak duże. Najgorzej wypadły natomiast LightInject i DryIoc.
Gdy mamy 10 operacji na drugie miejsce wskoczył NiquIoCFull. Na pierwsze przesunął się NiquIoCPartial, a Autofac spadł na trzecie. Kolejne miejsce zajmują SimpleInjector i Grace. Trochę gorzej poradził sobie StrutureMap. Zaraz za nim jest Windsor, który z podium spadł na 7 miejsce. Kolejne miejsca to LightInject i Unity. DryIoc nadal słabo,

jednakże wzrostu czasu był nieduży. Ostatnie miejsce zajął Ninject.
Dla 100 operacji na pierwszym miejscu znalazł się NiquIoCFull. Na podium znaleźli się jeszcze SimpleInjector i Grace. NiquIoCPartial spadł poza podium, a tuż za nim jest LightInject. DryIoc nadal z niedużym wzrostem czasu i tym razem jego wynik jest już akceptowalny. Pozostałe rozwiążań bardzo słabo. Kolejne miejsca to StructureMap oraz Autofac, a ranking zamykają Unity, Windsor i Ninject.
Test dla 1000 operacji nie spowodował żadnych zmiań w rankingu. Jedynie różnica czasów pomiędzy pierwszą 5, a pozostały miejscami znacząco się zwiększyła. Dla pierwszej piątki czasy zwrosły około dwukrotkie, a dla pozostały miejsc ponad siedmiokrotnie.

5.1.6 Wyniki dla PerThread

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	71	73	71	71	72	71	71	73	72	72	74	72
Grace	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
LightInject	50	53	50	50	51	50	50	54	51	50	52	51
Ninject	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	7	6
NiquIoCPartial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NiquIoCFull	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
SimpleInjector	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
StructureMap	9	10	9	9	10	9	9	10	9	10	10	10
Unity	7	8	7	7	8	7	7	8	7	8	9	8
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 5: Wyniki testów dla operacji PerThread dla Przypadku testowego A

Czasy dla tego przypadku powinny być zbliżone do czasów dla przypadku Singleton, ponieważ wszystko było uruchamiane w jednym wątku. Niestety część rozwiązań sobie z tym nie poradziła.
Wyniki zbliżone posiadają: Autofac, Grace, Ninject, NiquIoCPartial, NiquIoCFull, StructureMap, Unity i Windsor. Natomiast dla SimpleInjector, LightInject i DryIoC czasy są od kilku do nawet kilkudziesięciu razy większe.
Jeśli chodzi o najlepsze rozwiązania, to wyglądają one tak samo jak dla Singleton. Pierwsze trzy miejsca to Aurofac, Windsor i NiquIoCPartial. Najsłabiej poradziły sobie LightInject i DryIoc. Tuż za czołówką znalazły się: NiquIoCFull, Grace i Ninject. Dla 1, 10 i 100 operacji wyżej uplasował się Ninject, a dla 1000 Grace. W drugiej połowie rankingu miejsca przypadły: SimpleInjector, Unity i StructureMap. Unity poradziło sobie gorzej niż SimpleInjector dla 1000 operacji, ale lepiej w pozostałych trzech przypadkach.

5.1.7 Wyniki dla FactoryMethod

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LightInject	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5	7	5
NiquIoCPartial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
StructureMap	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Unity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Tab. 6: Wyniki testów dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego A

Dla tego testu prawie wszystkie rozwiązania mają czasy zbliżone do 0 ms. Wyjątkiem są 4 rozwiązania. Trzy z nich, czyli: StrucutreMap, Unity oraz Windsor dla 1000 operacji uzyskały czas zbliżony do 1 ms. Najgorzej poradził sobie Ninject i już przy 100 operacjach uzyskał czasy na poziomie 1 ms. Natomiast w przypadku 1000 operacji poradził on sobie 5 razy gorzej.

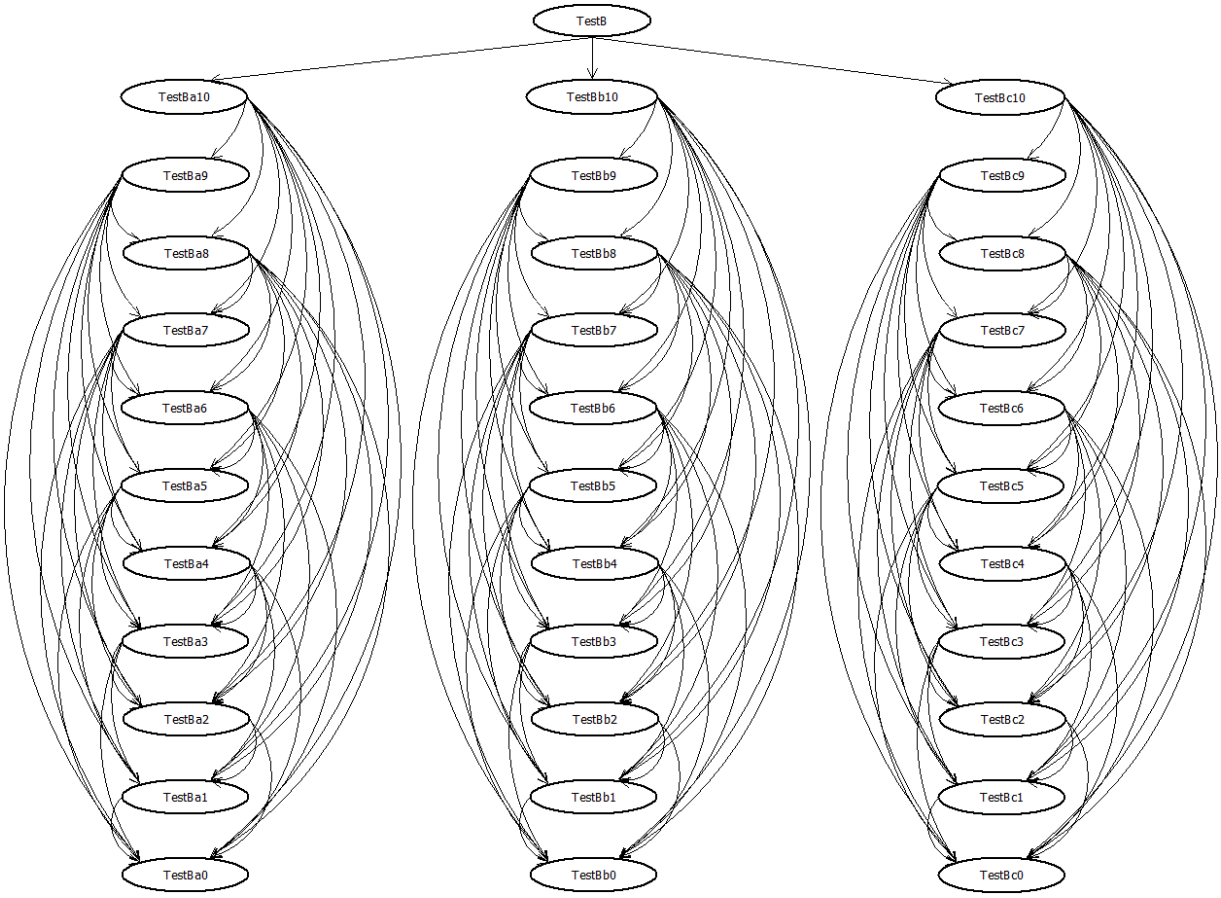
5.2 Przypadek testowy B

5.2.1 Opis

Ten test jest bardzo podobny do przypadku testowego A, tylko dochodzi nam 1 dodatkowy poziom, który wygląda trochę inaczej. W głównym obiekcie "TestB" konstruktor przyjmuje 3 parametry następujących typów: "TestBa10", "TestBb10", "TestBc10". Każdy z tych 3 typów odpowiada typowi "TestA", więc przyjmuje on w konstruktorze 10 parametrów. Dla "TestBa10" są to parametry typów od "TestBa0" do "TestBa9", dla "TestBb10" są to parametry typów od "TestBb0" do "TestBb9", a dla "TestBc10" są to parametry typów od "TestBc0" do "TestBc9". Zależności tych typów wyglądają tak samo, jak dla typów z przypadku testowego A - Rys. 27 przedstawia te zależności.

Łatwo wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów ilość tworzonych obiektów rośnie dwukrotnie (tak jak dla testu A):

- TestBa0 - 1 obiekt,
- TestBa1 - 2 obiekty (obiekt typu TestBa1 i obiekt typu TestBa0),



Rys. 27: Graf zależności dla testu B.

- TestBa2 - 4 obiekty (obiekt typu TestBa2, obiekt typu TestBa1 - 2 obiekty, obiekt typu TestBa0 - 1 obiekt),
- TestBa3 - 8 obiektów (obiekt typu TestBa3, obiekt typu TestBa2 - 4 obiekty, obiekt typu TestBa1 - 2 obiekty, obiekt typu TestBa0 - 1 obiekt),
- TestBa4 - 16 obiektów,
- TestBa5 - 32 obiektów,
- TestBa6 - 64 obiektów,
- TestBa7 - 128 obiektów,
- TestBa8 - 256 obiektów,
- TestBa9 - 512 obiektów,
- TestBa10 - 1 024 obiektów,

- . . . (dla typów od TestBb0 do TestBb10 i od TestBc0 do TestBc10 sytuacja wygląda dokładnie tak samo jak dla typów od TestBa0 do TestBa10),
- TestB - 3 073 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestB, tworzymy: 1 obiekt typu TestB, 1 obiekt typu TestBa10, TestBb10 i TestBc10, 1 obiekt typu TestBa9, TestBb9 i TestBc9, 2 obiekty typu TestBa8, TestBb8 i TestBc8, 4 obiekty typu TestBa7, TestBb7 i TestBc7, 8 obiektów typu TestBa6, TestBb6 i TestBc6, 16 obiektów typu TestBa5, TestBb5 i TestBc5, 32 obiektów typu TestBa4, TestBb4 i TestBc4, 64 obiektów typu TestBa3, TestBb3 i TestBc3, 128 obiektów typu TestBa2, TestBb2 i TestBc2, 256 obiektów typu TestBa1, TestBb1 i TestBc1, 512 obiektów typu TestBa0, TestBb0 i TestBc0 - co daje w sumie 3 073 obiektów.

5.2.2 Wyniki dla Register

Test	Singleton	Transient	TransientSingleton	PerThread
Autofac	0	0	0	0
DryIoc	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0
LightInject	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0
StructureMap	1	1	1	1
Unity	0	0	0	0
Windsor	1	1	1	1

Tab. 7: Wyniki testów dla operacji Register dla Przypadku testowego B

Tutaj wszystkie rozwiązania za wyjątkiem StructureMap i Windsor mają zawsze czasy zbliżone do 0. Te dwa rozwiązania wszystkich testów mają czasy zbliżone do 1 ms.

5.2.3 Wyniki dla Singleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	8	8	8	8	9	8	8	9	8	8	9	8
Grace	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
LightInject	6	7	6	6	7	6	6	7	6	6	7	6
Ninject	9	10	9	9	10	9	9	11	10	12	13	12
NiquIoCPartial	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4
NiquIoCFull	8	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SimpleInjector	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
StructureMap	32	33	33	32	33	33	32	34	33	33	34	33
Unity	23	24	23	23	24	23	23	24	24	24	25	24
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 8: Wyniki testów dla operacji Singleton dla Przypadku testowego B

Podobnie jak dla przypadku testowego A, tutaj również najlepiej poradziły sobie najpopularniejsze rozwiązania - Aurofac i Windsor. Warto zaznaczyć, że to jedyne rozwiązania, które nie zanotowały znaczącego wzrotu czasu. Dla pozostałych rozwiązań czasy wzrosły od 2 do 4 razy. NiquIoCPartial uplasował się tutaj również na 3 miejscu, a za nim SimpleInjector oraz LightInject. Koniec rankingu jest taki sam, czyli Ninject, Unity i StructureMap. NiquIoCFull, Grace, a także DryIoc miały zbliżone do siebie czasy - trochę słabsze niż LightInject i trochę lepsze niż Ninject.

5.2.4 Wyniki dla Transient

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	2	2	2	21	25	21	189	201	191	1890	2044	1903
DryIoc	43	44	43	44	45	44	51	52	51	97	100	98
Grace	50	59	51	51	55	52	57	59	58	122	128	124
LightInject	31	33	32	32	33	32	37	38	37	70	73	71
Ninject	36	38	36	276	337	284	2733	3595	2790	28220	29976	28720
NiquIoCPartial	5	5	5	10	10	10	59	79	61	543	633	550
NiquIoCFull	26	27	26	26	27	26	32	33	32	66	68	66
SimpleInjector	40	41	40	40	42	41	47	48	47	95	97	96
StructureMap	33	34	33	45	46	45	167	175	168	1333	1565	1346
Unity	28	29	28	49	50	49	260	271	262	2355	2419	2366
Windsor	6	7	6	49	69	50	476	610	484	4726	5665	4799

Tab. 9: Wyniki testów dla operacji Transient dla Przypadku testowego B

Dla tego testu sytuacja wygląda niemal identycznie jak w teście A, z tą różnicą, że czasy dla każdego rozwiązania są ponad 3 razy większe.

Przy 1 operację najlepiej radzi sobie Autofac, a tuż za nim NiquIoCPartial i Windsor. Pozostałe rozwiązania wypadły słabo i mają czasy od kilku do kilkunastu razy większe niż czołówka. Kolejne miejsca to: NiquIocFull, Unity, LightInject, StructureMap oraz Ninject, a ranking zamykają SimplyInjector, DryIoc i Grace.
Gdy mamy 10 operacji najlepiej radzi sobie NiquIoCPartial, a zaraz za nim z czasem dwókrotnie gorszym jest Autofac. Następnie w rankingu znajduje się NiquIoCFull i LightInject. Tutaj również jak w przypadku testowym A, Ninject ma ponad 5 razy gorszy czas niż miejsce przedostatnie, z tą różnicą, że zajmuje je Grace, a nie Windsor, który uzyskał trochę lepszy czas i jest miejsce wyżej. Lepiej od Windsor poradziły sobie jeszcze: SimpleInjector, DryIoc, StructureMap i Unity, ale do czołówki brakowało im bardzo dużo.
Dla 100 operacji nic się nie zmieniło w stosunku do testu A. Pierwsze trzy miejsca zajmują: NiquIoCFull, LightInject i SimpleInjector. Grace z miejsca przedostatniego dla 10 operacji, awansował na miejsce piąte. Przed nim znalazł się DryIoc, a tuż za nim NiquIoCPartial. Czas całej trójki są zadowalające. Grono najsłabszych to: StructureMap, Autofac, Unity, Windsor i Ninject.
Jak można się było spodziewać przy 1000 operacji sytuacja wygląda identycznie - pod względem czasu od czołówki oddalił się NiquIoCPartial, a na pierwszym miejscu wciąż pozostaje NiquIoCFull. LightInject oraz SimpleInjector są kawałek za nim. Dalej DryIoc i Grace wciąż akceptowalnie. Miejsce w środku rankingu zajmuje NiquIoCPartial, a pozostałe rozwiązania mają od niego o rząd lub dwa większe czasy.
Tutaj również najmniejszy wzorst czasów miały rozwiązania: LightInject, NiquIoCFull, SimpleInjector, DryIoc oraz Grace.

5.2.5 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	1	2	1	18	20	18	172	206	173	1698	1832	1709
DryIoc	56	57	56	57	58	57	64	65	64	108	110	109
Grace	30	32	31	31	32	31	35	37	35	69	72	69
LightInject	48	50	48	48	50	48	51	53	51	80	82	80
Ninject	29	34	30	214	239	219	2013	2426	2063	20440	22891	20858
NiquIoCPartial	4	5	5	8	9	8	41	57	42	365	406	368
NiquIoCFull	16	16	16	16	17	16	18	19	18	37	39	38
SimpleInjector	28	28	28	28	29	28	32	34	32	61	62	61
StructureMap	33	34	33	40	46	40	112	123	113	797	915	805
Unity	27	28	27	46	47	46	226	263	228	2016	2305	2032
Windsor	3	5	3	37	46	37	355	435	362	3543	4824	3637

Tab. 10: Wyniki testów dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego B

Jeśli chodzi o wzrost czasów w stosnku do przypadku testowego A, to sytuacja wygląda niemal identycznie jak dla testu Transient - jest on ponad trzykrotny.
Dla 1 operacji podium wygląda jednak inaczej niż dla testu A - miejscami zamieniły się

NiquIocPartial i Windsor. Na pierwszy miejscu pozostaje Autofac. Różnice czasów dla pozostałych rozwiązań są już dużo bardziej zauważalne. Znajdujący się tuż za podium NiquIoCFull ma wynik ponad trzy razy słabszy niż NiquIoCPartial, który to podium zamyka. Kolejne miejsca to: Unity, SimpleInjector, Ninject, Grace, StructureMap, Lightinject i na końcu DryIoc.
Gry mamy 10 operacji pierwsze dwa miejsca zajmują NiquIoCPartial i NiquIoCFull. Tuż za nimi znajduje się Autofac. SimplyInjector oraz Grace zanotowały niewielki wzrost czasów i zajmują kolejne dwa miejsca. Nieduży wzrostu czasów zaliczyły również LightInject i DryIoc, ale ich czasy są wciąż duże w stosunku do pozostałych rozwiążań i zajmuje dwa przedostatnie miejsca - ustępując jedynie Ninject. Miejsca od 6 do 8 przypadły: Windsor, StructureMap oraz Unity.
Przy 100 i 1000 operacjach nie ma już żadnych zmian w rankingu względem testu A.
Dla pierwszego przypadku początek rankingu wygląda następująco: NiquIocFull, SimpleInjector i Grace. Zaraz za podium znajduje się NiquIocPartial. LightInject oraz DryIoc dzięki niedużemu wzrostowi czasów znalazły się na miejscach piątym i szóstym. Są to ostatnie zadowalające rozwiązania. Kolejne miejsca zajmują: StrucutreMap, Autofac, Unity, Windsor oraz Ninject.
Dla drugiego przypadku pierwsze trzy miejsca są jak wyżej. Natomiast o jedno miejsce awansowały LightInject oraz Grace. NiquIoCPartial spadł na miejsce szóste i dołączył do grupy rozwiązań z bardzo dużymi czasami. Reszta rankingu nie uległa zmianie.

5.2.6 Wyniki dla PerThread

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	246	250	247	246	250	247	246	248	247	246	249	247
Grace	13	13	13	13	13	13	13	14	13	13	14	13
LightInject	409	419	412	409	432	413	409	416	412	409	420	413
Ninject	9	10	9	9	10	9	9	10	10	12	13	13
NiquIoCPartial	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4
NiquIoCFull	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SimpleInjector	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	23
StructureMap	32	34	33	32	38	33	33	35	33	33	34	33
Unity	23	25	23	23	24	23	23	24	23	24	25	24
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 11: Wyniki testów dla operacji PerThread dla Przypadku testowego B

Podobnie jak było dla przypadku testowego A, tutaj również nie wszystkie rozwiązania mają czasy zbliżone do Singleton.
Są to te same rozwiązania co dla testu A, czyli: SimpleInjector, DryIoc i LightInject. Warto jednak zaznaczyć, że dla SimpleInjector wzrost czasów jest kilkukrotny, a dla pozostałych dwóch rozwiązań kilkudziesięciokrotny.
Tak samo jak w przypadku Signleton czołówka wygląda następująco: Aurofac, Wind-

sor i NiquIoCPartial. Kolejne miejsca zajmują: NiquIoCFull, Ninject i Grace. Najsłabiej poradziły sobie rozwiązania LightInject i DryIoc. W środku tabeli pod względem czasów znalazły się SimpleInjector, Unity i StrucutreMap. W odróżnieniu od przypadku testowego A, tutaj nie było żadnych zmian w rankingu i wszystkie rozwiązania zajmują te same miejsca dla dowolnej liczby operacji.

5.2.7 Wyniki dla FactoryMethod

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
DryIoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
LightInject	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	6	6
NiquIoCPartial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
StructureMap	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
Unity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1

Tab. 12: Wyniki testów dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego B

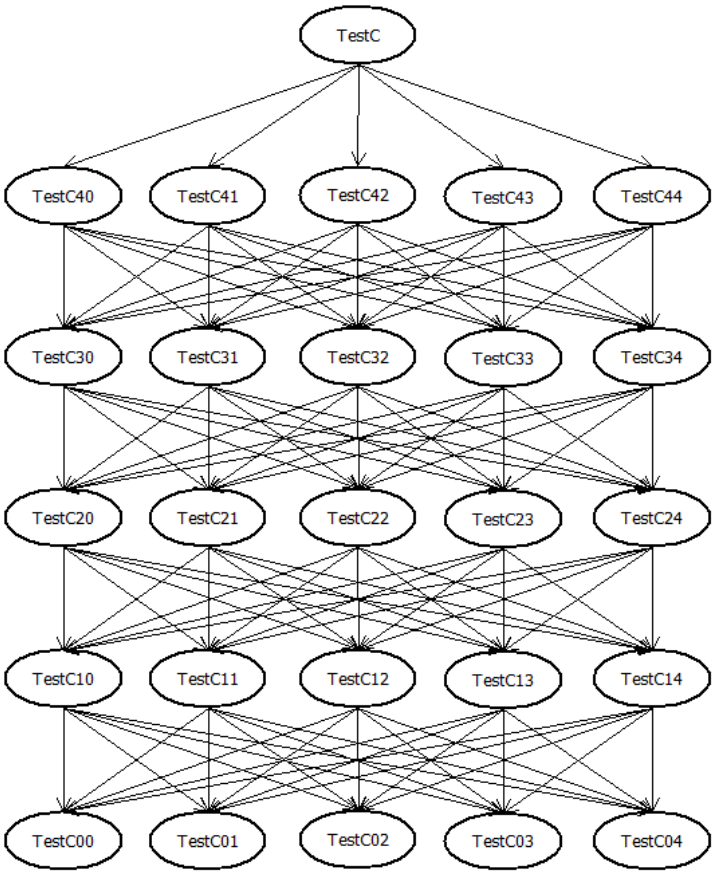
Dla tego przypadku testowego trochę więcej rozwiązań miało czasy 1 ms lub większe. Wyniki na poziomie 0 ms dla każdej liczby powtórzeń zanotowały: DryIoc, LightInject, NiquIoCPartial oraz NiquIoCFull. Trochę gorzej od nich poradził sobie Grace. Następne miejsca przypadły: Autofac, SimpleInjector, StructureMap i Windsor. Czasy około dwa razy gorsze od nich osiągnął Unity. Wszystkie z tych 6 rozwiązań miałby czasy powyżej 0 ms dopiero dla 1000 operacji. Ninject tym razem również już przy 100 operacjach zaczął mieć wyniki na poziomie 1 ms. Gdy liczba operacji została zwiększona do 1000, to jego czasy wzrosły sześciokrotnie.

5.3 Przypadek testowy C

5.3.1 Opis

Ten przypadek testowy znacząco różni się od dwóch poprzednich. Mamy tutaj zdefiniowanych 26 typów. 5 z tych typów ma konstruktor bezparametrowy, a pozostałe 21 ma konstuktor z pięcioma parametrami. Typem głównym jest typ "TestC". Obiekt tego typy w konstruktorze przymuje 5 obiektów, kolejno następujących typów: "TestC40", "TestC41", "TestC42", "TestC43" i "TestC44". Każdy z tych pięciu typów ma taki sam konstruktor - przyjmuje w nim 5 obiektów o typach, które w nazwie mają pierwszy numer o 1 mniejszy, czyli są to obiekty typów od "TestC30" do "TestC34". Dla tych i

kolejnych typów zasad z konstruktorami wygląda tak samo. Na końcu dochodzimy do typów od "TestC00" do "TestC04", które mają konstruktor bezparametrowy. Rys. 28 przedstawia graf zależności typów dla tego przypadku testowego.



Rys. 28: Graf zależności dla testu C.

Łatwo wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów ilość tworzonych obiektów rośnie ponad pięciokrotnie:

- typy od TestC00 do TestC04 - 1 obiekt,
- typy od TestC10 do TestC14 - 6 obiektów (obiekt danego typu plus 5 obiektów typów od TestC00 do TestC04),
- typy od TestC20 do TestC24 - 31 obiektów (obiekt danego typu plus 5 obiektów typów od TestC10 do TestC14),
- typy od TestC30 do TestC34 - 156 obiektów,
- typy od TestC40 do TestC44 - 781 obiektów,
- TestC - 3 906 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestC, tworzymy: 1 obiekt typu TestC, 5 obiektów typów od TestC40 do TestC44, 25 obiektów typów od TestC30 do TestC34, 125 obiektów typów od TestC20 do TestC24, 625 obiektów typów od TestC10 do TestC14 oraz 3 125 obiektów typów od TestC00 do TestC04 - co daje w sumie 3 906 obiektów.

5.3.2 Wyniki dla Register

Test	Singleton	Transient	TransientSingleton	PerThread
Autofac	0	0	0	0
DryIoc	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0
LightInject	0	0	1	0
Ninject	0	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0
StructureMap	1	1	1	1
Unity	0	0	0	0
Windsor	0	0	0	0

Tab. 13: Wyniki testów dla operacji Register dla Przypadku testowego C

Tym razem wszystkie rozwiązania za wyjątkiem LightInject i StructureMap mają zawsze czasy zbliżone do 0. LightInject dla testu TransientSingleton ma czas zbliżony do 1 ms, a StructureMap dla wszystkich testów.

5.3.3 Wyniki dla Singleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Grace	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
LightInject	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ninject	6	6	6	6	6	6	6	7	6	9	10	9
NiquIoCPartial	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
NiquIoCFull	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SimpleInjector	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
StructureMap	22	23	22	22	23	22	22	23	22	23	24	23
Unity	15	16	15	15	16	15	15	16	15	16	17	16
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 14: Wyniki testów dla operacji Singleton dla Przypadku testowego C

Pomimo zupełnie innego przypadku testowego, dla testu Singleton, wciąż najlepiej radzą sobie Autofac i Windsor. Ich czasy nawet dla 1000 operacji są wciąż mniejsze niż 1 milisekunda. Dodatkowo tutaj również podium zamyka NiquIoCPartial. Kolejne miejsca zajmują LightInject i SimpleInjector. Trochę gorzej od nich radzą sobie DryIoc, Grace i NiquIoCFull. Ostatnie trzy miejsca należą do Ninject, Unity i StructureMap. Zatem ranking wygląda tutaj identycznie jak dla poprzednich dwóch testów dla tego samego przypadku.

5.3.4 Wyniki dla Transient

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	2	2	2	23	25	24	229	250	231	2274	2419	2288
DryIoc	39	41	39	40	41	40	47	48	47	98	100	99
Grace	61	63	61	62	65	62	73	74	73	153	163	155
LightInject	36	37	36	36	39	37	43	49	44	86	88	86
Ninject	38	42	39	345	375	353	3430	4043	3511	36072	42914	37642
NiquIoCPartial	3	4	4	10	11	10	72	80	74	683	781	690
NiquIoCFull	31	33	31	31	33	32	38	41	38	81	83	82
SimpleInjector	40	42	41	41	43	41	49	51	49	115	117	116
StructureMap	26	27	26	40	42	40	178	207	181	1520	1810	1540
Unity	18	19	19	47	51	47	315	369	318	2995	3359	3015
Windsor	7	8	7	61	82	62	594	769	608	5898	7708	6037

Tab. 15: Wyniki testów dla operacji Transient dla Przypadku testowego C

Gdy mamy 1 operację najniższe czasy uzyskały Autofac i NiquIoCPartial. Tuż za nimi znalazł się Windsor. Kolejne rozwiązania mają już dużo większe czasy. Na czwartym miejscu znalazł się Unity, dalej StructureMap i NiquIoCFull. Następne miejsca należą kolejno do LightInject, DryIoc, Ninject i SimpleInjector. Najgorzej poradził sobie tutaj Grace.
Przy 10 operacjach pierwsze dwa miejsca uległy zamianie. Tym razem najniższe czasy uzyskał NiquIoCPartial. Podium zamyka NiquIoCFull, który awansował o 3 miejsca. Niewiele za nim uplasował się LightInject. Kolejne pozycje w rankingu należą do DryIoc, StructureMap oraz SimpleInjector, które uzyskały zbliżone do siebie czasy. Znaczący wzrost czasów zanotowały natomiast Unity i Windsor, które znalazły się na miejsach 8 i 10. Z niewielkim wzrostem czasu w stosunku do 1 operacji, między nimi znalazł się Grace. Ranking zamyka Ninject.
Dla 100 operacji na prowadzenie wysunęły się NiquIoCFull oraz LightInject. Trochę słabiej poradziły sobie DryIoc i SimpleInjector, jednak ich czasy są również zadowalające. Następne miejsca z zauważalną różnicą czasów w stosunku do czołówki zajęły Grace oraz NiquIoCPartial. Miejsce 7 w rankingu zajął StructureMap z czasem ponad dwukrotnie większym niż poprzednik. Kolejne miejsca należą do: Autofac, Unity, Windsor i Ninject.
Test dla 1000 operacji nie spowodował żadnych zmian w rankingu, jednakże czasy dla

NiquIoCPartial przestały być akceptowalne - wzrosły one ponad dziewięciokrotnie, a dla wyższych miejsc wzrost był maksymalnie trzykrotny. Pozostałe rozwiązania miały wzrost zbliżony do wzorstu NiquIoCPartial.

5.3.5 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	1	2	2	19	20	20	184	198	187	1810	1898	1831
DryIoc	58	70	58	59	62	59	65	68	65	105	107	106
Grace	23	24	23	23	24	23	25	26	25	44	45	44
LightInject	52	54	52	52	55	53	55	57	56	82	85	83
Ninject	25	30	26	199	231	203	1903	2364	1951	19137	22595	19626
NiquIoCPartial	3	3	3	6	7	6	38	46	39	347	359	349
NiquIoCFull	12	13	12	12	13	12	13	14	14	25	26	25
SimpleInjector	21	22	21	21	22	21	23	24	24	44	45	44
StructureMap	23	23	23	30	31	30	80	84	80	549	593	553
Unity	18	18	18	39	41	40	242	258	243	2258	2428	2272
Windsor	3	3	3	34	41	35	338	400	343	3368	4115	3429

Tab. 16: Wyniki testów dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego C

Dla 1 operacji tylko 3 rozwiążania uzyskały wynik jednocyfrowy. Są to kolejno: Autofac, NiquIoCPartial i Windsor. Pozsotałe rozwiązania czasy mają dużo słabsze. Najniższy uzyskał NiquIoCPartial, a dalej za nim Unity i SimpleInjector. Kolejne miejsca należą do StrucutreMap, Grace i Ninject. Na końcu rankingu znalazły się LightInject oraz DryIoc.
Przy 10 operacjach sytuacja lekko uległą zmianie. Pierwsze dwa miejsca zajmują NiquIoCPartial i NiquIoCFull. Kawałek za nimi są Autofac i SimpleInjector, które dzieli niewielka różnica. Trochę gorszy czas od nich uzyskał Grace. Reszta rozwiązań dość znacząco odstaje od czołówki. Ostatnie 6 miejsc to: StructureMap, Windsor, Unity, LightInject, DryIoc oraz na końcu Ninject.
Gdy mamy 100 operacji na prowadzenie wysunął się NiquIoCFull, a poza pierwszą trójkę wypadł NiquIoCPartial. Miejsce drugie i trzecie należą do SimpleInjector oraz Grace. LightInject i DryIoc zanotowały niewielki wzrost czasów i przy dużym wzroście dla pozostałych rozwiązań, znalazły się na miejscach 5 i 6. Do grona najsłabszych dołączył natomiast Autofac. Zajął on miejsce pomiędzy StrucuteMap, a Unity. Ostatnia pozycja nie uległa zmianie i należy do Ninejct, przed którym znalazł się Windsor.
Również i dla tego testu przy 1000 operacjach nie było dużych zmian w rankingu. Wszystkie rozwiązania zachowały swoje miejsca za wyjątkiem NiquIoCPartial, który spadł na miejsce 6.

5.3.6 Wyniki dla PerThread

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DryIoc	157	162	158	157	160	158	157	160	158	158	161	158
Grace	8	9	8	8	9	8	8	9	8	8	9	8
LightInject	525	556	529	525	551	530	525	558	530	525	550	529
Ninject	6	7	6	6	6	6	6	7	6	9	10	9
NiquIoCPartial	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
NiquIoCFull	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SimpleInjector	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	16
StructureMap	22	23	22	22	23	22	22	23	22	23	73	24
Unity	15	16	15	15	16	15	15	16	15	16	17	16
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 17: Wyniki testów dla operacji PerThread dla Przypadku testowego C

Podobnie jak dla przypadków testowych A i B, tutaj również SimpleInjector zaliczył lekki wzrost czasów w stosunku do testu Singleton. DryIoc oraz LightInject zaliczyły bardzo duże wzrosty i to one zamykają ranking. Przed nimi znalazł się StructureMap, a miejsce wyżej wcześniej wspomniany SimpleInjector. Podobne czasy do niego zanotował Unity, który uplasował się na miejscu 7. Idąc w rankingu ku górze, to przy 1, 10 i 100 operacjach lepiej radził Ninject, a przy 1000 operacjach Grace. Te dwa rozwiązania znalazły się na dwóch kolejnych miejscach. Tuż za podium jest NiquIoCFull, a pierwsze trzy miejsca bez zmian dla tego testu, czyli: Autofac, Windsor, NiquIoCPartial.

5.3.7 Wyniki dla FactoryMethod

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
DryIoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LightInject	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5	7	5
NiquIoCPartial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
StructureMap	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Unity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

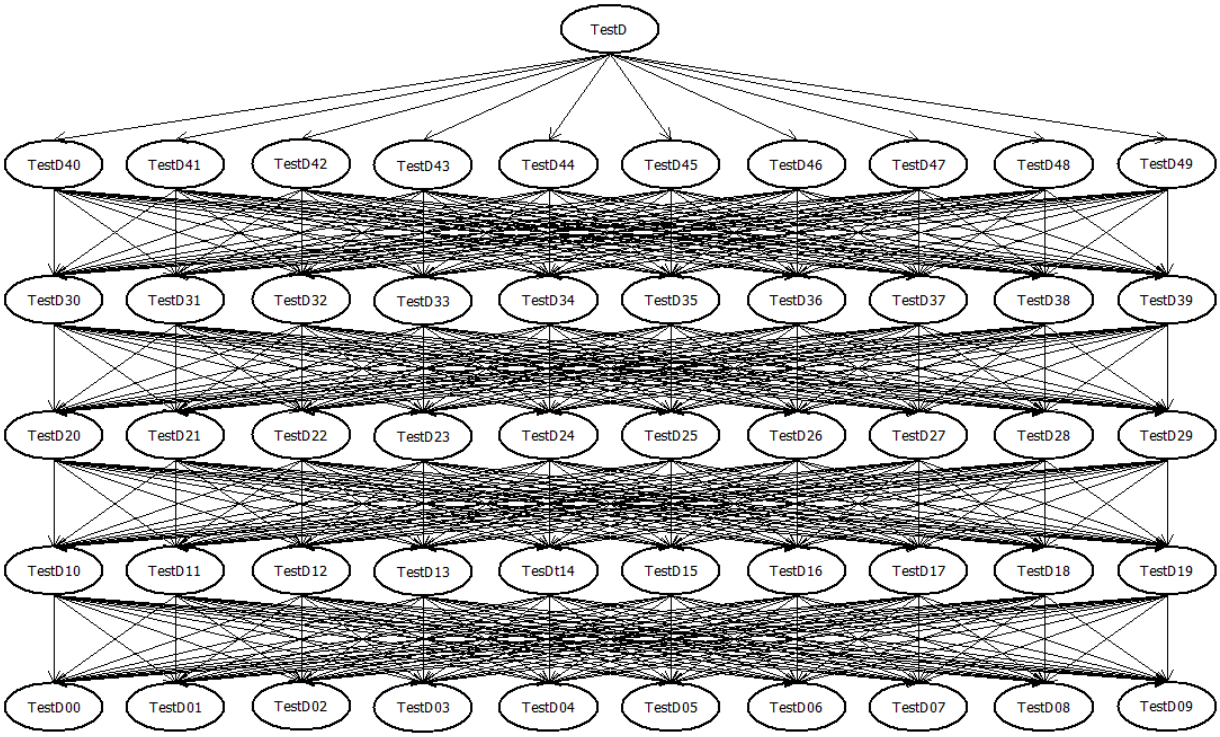
Tab. 18: Wyniki testów dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego C

W tym przypadku 6 rozwiązań zanotowało wszystkie średnie czasy na poziomie 0 ms. Są to: DryIoc, Grace, LightInject, NiquIoCPartial, NiquIoCFull i Autofac, który czasem dla 1000 operacji osiągał 1 ms. Dalej znalazł się SimpleInjector, który czasami dla 1000 powtórzeń miał czasy 0 ms, ale jego średni czas to 1 ms. Następne miejsca przypadły StructureMapp i Windsor. Przedostatni w rankingu jest Unity, który czasami dla 1000 operacji uzyskiwał czasy nawet około 2 ms. Ostatnie miejsce tym razem również zajmuje Ninject i sytuacja wygląda niemal identycznie jak w pozostałych dwóch przypadkach testowych dla tego testu - już przy 100 powtórzeniach osiągnął on czasy na poziomie 1 ms, a gdy mamy 1000 operacji, to czasy średnie wynoszą około 5 ms.

5.4 Przypadek testowy D

5.4.1 Opis

Podobnie jak przypadek testowy B jest analigoczny z przypadkiem A, tak ten przypadek, jest zbliżony do przypadku C. Jednakże pokrewieństwo jest inne. Mamy tutaj tyle sama poziomów, co dla C, ale na każdym poziomie (poza pierwszym) obiektów jest dwa razy więcej. Zatem w tym teście mamy zdefiniowanych 51 typów. Tutaj konstruktor bezparametrowy ma 10 typów, a pozostałe 41 ma konstuktor z dziesięcioma parametrami. Typ główny to "TestD" i przymuje on w konstruktorze 10 obiektów, kolejno następujących typów: "TestD40", "TestD41", "TestD42", "TestD43", "TestD44", "TestD45", "TestD46", "TestD47", "TestD48", "TestD49". Jest więc to sytuacja niemal identyczna jak dla poprzedniego przypadku. Dla pozostałych typów jest podobnie i każdy z nich w konstruktorze przyjmuje 10 obiektów o typach z pierwszym numerem o 1 mniejszym (obiekty typów od "TestD40" do "TestD49", przyjmują w konstruktorze obiekty typów od "TestD30" do "TestD39" itd.). Ostatnie 10 typów, czyli typy od "TestD00" do "TestD09", mają konstruktor bezparametrowy. Graf zależności dla tego przypadku testowego został przedstawiony na Rys. 29.



Rys. 29: Graf zależności dla testu D.

Łatwo wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów ilość tworzonych obiektów rośnie ponad dziesięciokortnie:

- typy od TestD00 do TestD09 - 1 obiekt,
- typy od TestD10 do TestD19 - 11 obiektów (obiekt danego typu plus 10 obiektów typów od TestD00 do TestD09),
- typy od TestD20 do TestD29 - 111 obiektów (obiekt danego typu plus 10 obiektów typów od TestD10 do TestD19),
- typy od TestD30 do TestD39 - 1 111 obiektów,
- typy od TestD40 do TestD49 - 11 111 obiektów,
- TestD - 111 111 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestD, tworzymy: 1 obiekt typu TestD, 10 obiektów typów od TestD40 do TestD49, 100 obiektów typów od TestD30 do TestD39, 1 000 obiektów typów od TestD20 do TestD29, 10 000 obiektów typów od TestD10 do TestD19, 100 000 obiektów typów od TestD00 do TestD09 - co daje w sumie 111 111 obiektów.

5.4.2 Wyniki dla Register

Test	Singleton	Transient	TransientSingleton	PerThread
Autofac	0	0	0	0
DryIoc	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0
LightInject	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0
StructureMap	4	2	1	4
Unity	0	0	0	0
Windsor	1	1	1	2

Tab. 19: Wyniki testów dla operacji Register dla Przypadku testowego D

Dla tego przypadku testowego również wszystkie rozwiązania za wyjątkiem StructureMap i Windsor mają czasy zbliżone do 0 ms. StructureMap radzi sobie zdecydowanie najgorzej. Zarówno dla testu Singleton jak i PerThread osiągnął czas 4 ms. Dla Transient zanotował 2 ms, a dla TransientSingleton 1 ms. Windsor natomiast dla trzech pierwszych testów (Singleton, Transient oraz TransientSingleton) ma czas zbliżony do 1 ms, a dla ostatniego testu (PerThread) osiąga 2 ms.

5.4.3 Wyniki dla Singleton

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0
DryIoc	10	10	10	10	10	10
Grace	16	17	16	16	17	16
LightInject	14	14	14	14	15	14
Ninject	21	22	21	21	22	21
NiquIoCPartial	8	9	9	8	9	8
NiquIoCFull	18	19	18	18	19	18
SimpleInjector	11	12	11	11	12	11
StructureMap	49	50	49	49	50	49
Unity	52	53	52	52	54	52
Windsor	0	0	0	0	0	0

Tab. 20: Wyniki testów dla operacji Singleton dla Przypadku testowego D

W porównaniu do poprzednich przypadków testowych, różnice czasów dla poszczególnych rozwiążań, są tutaj dużo bardziej zauważalne. Cowięcej wyniki dla 1 jak i 10 operacji są praktycznie takie same. Ponownie najlepiej dla tego testu radzą sobie Autofac i

Windsor. Kolejne miejsca zajmują NiquIoCPartial, DryIoc oraz SimpleInjector. Różnice czasów pomiędzy tymi trzema rozwiązaniami są niewielkie (około 1 milisekunda). Na miejscu 6 znalazł się LightInject, a zaraz za nim Grace. Trochę słabiej od nich poradził sobie NiquIoCFull. Grupę rozwiązań ze średnimi czasami zamyka Ninject. Ostatnie dwa wyniki, z bardzo dużo różnica w stosunku do pozostałych rozwiązań, uzyskały StructureMap i Unity.

5.4.4 Wyniki dla Transient

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	136	160	147	1161	1279	1188
DryIoc	979	996	982	1013	1025	1015
Grace	1413	1472	1426	1465	1558	1495
LightInject	797	831	812	841	878	853
Ninject	1016	1179	1039	10072	11599	10307
NiquIoCPartial	36	38	37	285	291	287
NiquIoCFull	566	576	569	619	661	631
SimpleInjector	177	179	178	205	212	206
StructureMap	102	110	103	586	603	591
Unity	150	200	152	1073	1183	1080
Windsor	177	261	182	1797	2421	1827

Tab. 21: Wyniki testów dla operacji Transient dla Przypadku testowego D

W przeciwieństwie do poprzedniego testu, tutaj różnica w czasach dla 1 i 10 operacji jest bardzo duża. Dla niektórych rozwiązań wzrost jest 10-krotny, a dla niektórych o kilka procent.
Gdy mamy 1 operację zauważalnie najlepiej radzi sobie NiquIoCPartial. Osiągnął on czasy ponad 3 razy mniejszy, niż StructureMap, który zajął drugie miejsce. Na kolejnych pozycjach z podobnymi czasami znalazły się: Autofac, Unity, SimpleInjector oraz Windsor. Dość duży czas zanotował NiquIoCFull i osiągnął miejsce 7. Dalej w rankingu jest LightInject. Ostatnie trzy miejsca zajęły: DryIoc, Ninject oraz Grace.
Przy 10 operacjach ranking bardzo się zmienia. Na prowadzenie wysunął się SimpleInjector, a na drugie miejsce spadł NiquIoCPartial. Podium zamyka StructureMap. Niedużo słabszy czas od niego uzyskał NiquIoCFull, jednak zanotował on wzrost czasu o około 10%, a StructureMap ten wzrost miał ponad 5-krotny. Na kolejnych dwóch miejscach, również z niedużym wzrostem, znalazły się LightInject oraz DryIoc. Miejsce 8 zajął Autofac. Mały wzrost miał także Grace, ale bardzo duży czas dla 1 operacji spowodował, że wyprzedził jedynie Windsor i Ninject, które zajęły dwie ostatnie pozycje.

5.4.5 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	77	84	78	893	964	910
DryIoc	905	922	910	936	983	942
Grace	374	386	376	381	396	383
LightInject	1285	1358	1310	1297	1360	1316
Ninject	503	572	511	4732	5620	4818
NiquIoCPartial	17	18	17	100	104	101
NiquIoCFull	144	151	145	151	159	152
SimpleInjector	85	87	86	91	93	91
StructureMap	60	69	61	165	173	167
Unity	115	140	116	683	771	689
Windsor	85	102	87	852	965	864

Tab. 22: Wyniki testów dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego D

Wyniki dla tego testu bardzo przypominają poprzednie rezultaty.
Dla 1 operacji z bardzo dużą przewagą na prowadzeniu jest NiquIoCParial. Na podium znalazły się również StructureMap i Autofac. Kolejne dwa miejsca z podobnymi czasami zajmują SimpleInjector oraz Windsor. Dalej jest Unity, a kawałe za nim NiquIocFull. Kolejne rozwiążania mają już bardzo dużo różnice czasów w stosunku do reszty. Miejsce 8 zajął Grace, a ranking zamykają: Ninject, DryIoc i LightInject.
Gdy mamy 10 operacji ranking ulega sporym zmianom. Trochę lepiej niż NiquIoCPartial radzi sobie SimpleInjector i to on znalazł się na prowadzeniu. Podium zamyka NiquIoCFull. Niedużo gorszy wynik od niego uzyskał StrucutreMap. Z lekkim wzrostem czasu na miejsce 5 awansował Grace. Pozostałe rozwiązania to już spore większe rezultaty. Najpierw jest Unity, a za nim z podobnymi wynikami znalazły się: Windsor, Autofac i DryIoc. Ostatnie dwa miejsca przypadły LightInject i Ninject.

5.4.6 Wyniki dla PerThread

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0
DryIoc	1042	1051	1045	1042	1051	1044
Grace	28	28	28	28	28	28
LightInject	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Ninject	21	22	21	21	22	21
NiquIoCPartial	8	9	9	8	10	9
NiquIoCFull	18	18	18	18	18	18
SimpleInjector	46	48	46	46	48	46
StructureMap	49	51	49	49	51	49
Unity	52	53	52	52	53	52
Windsor	0	0	0	0	0	0

Tab. 23: Wyniki testów dla operacji PerThread dla Przypadku testowego D

Dla tego testu największym rozczarowaniem okazał się LightInject. Osiągnął on nieporównywalnie większe czasy niż cała reszta. Bardzo duże wyniki zanotował również DryIoc.
Najlepiej poradziły sobie Autofac i Windsor. NiquIoCPartial znalazł się na 3 miejscu, a dalej, z czasem dwukrotnie większym, NiquIoCFull. Trochę gorszy wynik od niego uzyskał Ninject. Kolejne miejsce zajął Grace. Ostatnia trójka (nie licząc wcześniej wspomnianych DryIoc oraz LightInject), to: SimpleInjector, StructureMap i Unity.

5.4.7 Wyniki dla FactoryMethod

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0
DryIoc	0	0	0	0	0	0
Grace	0	0	0	0	0	0
LightInject	0	0	0	0	0	0
Ninject	0	0	0	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0	0	0	0
SimpleInjector	0	0	0	0	0	0
StructureMap	0	0	0	0	0	0
Unity	0	0	0	0	0	0
Windsor	0	0	0	0	0	0

Tab. 24: Wyniki testów dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego D

Tym razem wszystkie rozwiązania mają czasy na poziomie 0 ms.

6 Podsumowanie

Zaproponowane przeze mnie rozwiązania bardzo dobrze realizują postawione we wstępie pracy cele. Dla wszystkich przypadków testowych, dla każdego z rodzaju rejestracji jedno z moich rozwiązań radziło sobie najlepiej albo niewiele odbiegało od najlepszego rozwiązania (zawsze któreś z moich rozwiązało było w pierwszej trójce, a czasmi nawet oba). Możliwość mieszania użyć zaprezentowanych przeze mnie rozwiążań (w jednym projekcie można korzystać z obu rozwiązań niezależnie) sprawia, że NiquIoC jest najwydajniejszą implementacją wzorca wstrzykiwania zależności dla złożonych grafów zależności.
Dodatkowo wyniki moich testów pokazują, że rozwiązanie Ninject jest najmniej wydajne i nie zaleca się go używać przy bardzo rozbudowanych grafach.Jeśli chodzi natomiast o rozwiązania, które radzą sobie dobrze, to nie ma drugiego takiego (poza moim), które zawsze dawałoby zadowalające rezulataty. SimpleInjector dość dobrze radzi sobie dla testów Singleton, Transient i TransientSingleton, ale osiąga słabe rezultaty dla PerThread i FactoryMethod. LightInject z kolei jest rozwiązaniem, które wraz ze wzrostem liczby operacji ma najmniejszy wzrostu czasu. Jednakże w wielu przypadkach dość duże czasy dla małej liczby operacji powodują, że wyniki dla wielu operacji są bardzo duże. Takim pośrednim rozwiązaniem jest natomiast Grace. To rozwiązanie ma zarówno nieduże wzrosty czasów jak i nieduże wyniki dla małej ilości operacji, jednak mimo wszystko są one dużo słabsze niż dla NiquIoC.

6.1 Kontynuacja projektu

Zaprezentowane przeze mnie rozwiązania są bardzo wydaje, ale mają swoje ograniczenia. Jednym z nich jest między innymi konieczność rejestracji wszystkich typów. Tę funkcjonalność możnaby rozszerzyć, aby nie trzeba było rejestrować klas. Algorytm sam rejestrowałby klasy gdyby okazywały się potrzebne - większość z rozwiązań dostarcza taką funkcjonalność. Kolejnym rozszerzeniem mogłoby być automatyczna rejestracja wszystkich typów z danego assembly. Osobom wykorzystującym moje rozwiązanie zaoszczędziłoby to sporo czasu na rejestrowanie wszystkich typów. Dodatkowo dodając kolejny typ do danego assembly, nie trzeba byłoby się przejmować zarejestrowaniem go. Jeszcze jednym dodatkiem wydaje się danie możliwości rejestracji wielu implementacji danego interfejsu. To jest również często spotykana funkcjonalność. Na koniec warto również wspomnieć o metodzie BuildUp dla NiquIoCFull - w mojej pracy tego zabrakło, a to również mogłoby być jednym z kolejnych rozszerzeń.

Spis rysunków

Spis tabel

Literatura

[1] Ian Griffiths, Matthew Adams, Jesse Liberty, C#. Programowanie. Wydanie VI, 2012

[2] Mark Seemann, Dependency Injection in .NET, 2012

[3] Serge Lidin, Expert .NET 2.0 IL Assembler, 2006

[4] Robert C. Martin, Czysty kod. Podręcznik dobrego programisty, 2014

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/SOLID_(object-oriented_design)