

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

1	Wstęp	3
1.1	Cel pracy	3
1.2	Układ pracy	3
2	Wstrzykiwanie zależności	4
2.1	Wstęp	4
2.2	Implementacje przemysłowe	4
3	Implementacja	6
3.1	Środowisko pracy	6
3.2	Microsoft Intermediate Language	6
3.3	Reflection.Emit	7
3.4	Opis	7
3.4.1	Register	7
3.4.2	Resolve	8
3.4.3	BuildUp	8
3.5	Rozwiązanie	9
3.5.1	Rozwiązanie 1 - PartialEmitFunction	9
3.5.2	Rozwiązanie 2 - FullEmitFunction	10
4	Testy wydajnościowe	12
4.0.1	Register as Singleton	12
4.0.2	Register as Transient	12
4.0.3	Register as TransientSingleton	12
4.0.4	Register as PerThread	12
4.1	Przypadek testowy A	13
4.1.1	Opis	13
4.1.2	Wyniki dla Singleton	14

4.1.3	Wyniki dla Transient	15
4.1.4	Wyniki dla TransientSingleton	16
4.1.5	Wyniki dla PerThread	16
4.2	Przypadek testowy B	17
4.2.1	Opis	17
4.2.2	Wyniki dla Singleton	19
4.2.3	Wyniki dla Transient	19
4.2.4	Wyniki dla TransientSingleton	20
4.2.5	Wyniki dla PerThread	21
4.3	Przypadek testowy C	22
4.3.1	Opis	22
4.3.2	Wyniki dla Singleton	23
4.3.3	Wyniki dla Transient	23
4.3.4	Wyniki dla TransientSingleton	24
4.3.5	Wyniki dla PerThread	24
4.4	Przypadek testowy D	25
4.4.1	Opis	25
4.4.2	Wyniki dla Singleton	27
4.4.3	Wyniki dla Transient	27
4.4.4	Wyniki dla TransientSingleton	28
4.4.5	Wyniki dla PerThread	28

5	Podsumowanie	29
----------	---------------------	-----------

1 Wstęp

1.1 Cel pracy

Wstrzykiwanie zależności 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. Celem niniejszej pracy magisterskiej jest stworzenie wydajnej implementacji tego wzorca dla złożonych grafów zależności. Do tego celu zostanie wykorzystana funkcjonalności z przestrzeni nazw Reflection.Emit. W tej pracy zostaną przedstawione dwa rozwiązania.

1.2 Układ pracy

Poza wstępem i podsumowaniem praca składa się jeszcze z trzech rozdziałów. W pierwszym znajduje się opis teoretyczny czym jest wstrzykiwanie zależności. Drugi rozdział opisuje moją implementację tego wzorca. Trzeci rozdział skupia się na testach wydajnościowych, w którym porównuję moją implementację z kilkoma najbardziej popularnym i kilkoma najszybszymi implementacjami.

2 Wstrzykiwanie zależności

2.1 Wstęp

Jest to zbiór zasad projektowania oprogramowania i wzorców, które pozwalają nam rozwijać luźno powiązany kod.

Jakiemu celowi ma służyć wstrzykiwanie zależności? Wstrzykiwanie zależności nie jest 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.

[1]

Wstrzykiwanie zależności może odbywać się na 3 sposoby

- wstrzykiwanie przez konstruktor (główna i najbardziej popularna)
- wstrzykiwanie przez metodę
- wstrzykiwanie przez właściwość

Dodać jak działa/jak wygląda każde z tych wstrzykiwań?

2.2 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.palmmmedia.de/Blog/2011/8/30/ioc-container-benchmark-performance-comparison>). Dane zostały wzięte z dnia 21-02-2017.

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)

3 Implementacja

Kod źródłowy programu jest dostępnym w repozytorium pod adresem: <https://github.com/amularczyk/NiquIoC>

Znajduje się tam też również kod programu, który posłużył do wykonania testów wydajnościowych, a także ta praca napisana w języku LaTeX i wszystkie obrazki.

3.1 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 2015 Community
- ReSharper
- Dia

Testy zostały wykonane we frameworku XUnit, który jest wbudowany w Visual Studio.

Rozwiązanie opiera się na użyciu operacji z przestrzeni nazw System.Reflection.Emit.

3.2 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.

3.3 Reflection.Emit

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

3.4 Opis

Aplikacja składa się z 1 projektu i 4 projektów na potrzeby testów. Rozwiązanie jest skomplikowane i aby mieć pewność, że działa w pełni dobrze zostało stworzone **ponad 1200** testów jednostkowych.

W wykonanej implementacji został stworzony interfejs IContainer, który definiuje operacje, jakie powinny się znaleźć w każdym kontenerze:

- IContainerMember RegisterType<T>() where T : class
- IContainerMember RegisterType<TFrom, TTo>() where TTo : TFrom
- IContainerMember RegisterType<T>(Func<object> objectFactory) where T : class
- IContainerMember RegisterInstance<T>(T instance)
- T Resolve<T>(ResolveKind resolveKind)
- void BuildUp<T>(T instance, ResolveKind resolveKind) - metoda opcjonalna

Pierwsze cztery metody służą do rejestracji typów do kontenera, piąta - Resolve, do zwracania obiektów wcześniej zarejestrowanego typu, a szóstą do uzupełnienia istniejącej instancji obiektu z wykorzystaniem wstrzykiwania zależności przez metodę i właściwość.

3.4.1 Register

W pierwszej metodzie możemy rejestrować zwykłe klasy. W drugiej interfejsy i klasy, które implementują dany interfejs. W trzeciej metodzie rejestrujemy klasę jako fabrykę obiektów - funkcję, która ma nam zwrócić pożądany obiekt. W czwartej natomiast możemy rejestrować konkretną instancję danej klasy. W mojej implementacji kontenera każdy typ może być zarejestrowany tylko raz - ponowna rejestracja tego samego typu nadpisuje istniejącą rejestrację.

Każda z tych czterech pierwszych metod zwraca interfejs IContainerMember, który umożliwia nam rejestrowanie danej klasy lub interfejsu z określonym menadżerem czasu

życia (podanie implementacji interfejsu `IObjectLifetimeManager`). Jest to po to, ponieważ dla różnych przypadków biznesowych możemy potrzebować, aby obiekt danego typu miał konkretny czas życia. Interfejs `IContainerMember` daje nam możliwość ustawienia czasu życia na:

- Singleton
- Transient
- PerThread
- PerHttpContext
- Custom

Opcje: Singleton, Transient, PerThread i PerHttpContext to wbudowane implementacje interfejsu `IObjectLifetimeManager`. Custom, to opcja na podanie przez użytkownika jego własnej implementacji tego interfejsu. W mojej implementacji kontenera każdy typ domyślnie ma czas życia Transient.

Interfejs `IObjectLifetimeManager` zawiera w sobie następujące metody:

- `Func<object> ObjectFactory get; set;`
- `object GetInstance()`

Pierwsza z nich służy do ustawienia fabryki, która zwraca obiekt. Druga służy do zwracania obiektu przy użyciu fabryki. W zależności od konkretnego czasu życia, to obiekt zwracany z metody `GetInstance` może być zawsze ten sam, zawsze różny albo ten sam tylko dla określonych sytuacji (np. ten sam dla tego samego wątku albo tego samego żądania http).

3.4.2 Resolve

Metoda piąta - Resolve, jest to główna operacja. Register można nazwać sercem kontenera, a Resolve mózgiem. Odpowiada ona za stworzenie i zwrócenie obiektu odpowiedniego typu. W mojej pracy zaproponowałem dwa rozwiązania - `PartialEmitFunction` i `FullEmitFunction`, dlatego ta metoda jako parametr przyjmuje wartość enuma `ResolveKind`.

3.4.3 BuildUp

Szósta metoda to taki dodatek - gdy mamy stworzony obiekt, ale nie jest w pełni uzupełniony, wtedy możemy go zbudować (używając odpowiednio `PartialEmitFunction`

lub FullEmitFunction). Z tą metodą są powiązane bezpośrednio dwa pojęcia - wstrzykiwanie przez metodę i wstrzykiwanie przez właściwość. Do tego celu zostały stworzone dwa atrybuty:

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

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

Warto tutaj odnotować, że ze względu na szczegóły implementacyjne tylko jedno z moich rozwiązań wspiera operację BuildUp - PartialEmitFunction. W FullEmitFunction ta funkcjonalność nie została zaimplementowana. Jest to spowodowane skomplikowaniem FullEmitFunction i małą potrzebą biznesową używania operacji BuildUp.

W aplikacji istnieje również atrybut DependencyConstructor. Można go użyć przy definicji konstruktora danej klasy. Obiekty każdej klasy tworzy się przy użyciu konstruktora. Klasa może mieć kilka konstruktorów. W mojej implementacji stworzyłem logikę wyboru konstruktora przy pomocy którego ma zostać stworzony obiekt. Jeśli jest kilka konstruktorów, odpowiedni jest wybierany w następującej kolejności:

1. Konstruktor z atrybutem DependencyConstructor
2. Konstruktor z największą liczbą parametrów

Jeśli jest kilka konstruktorów z atrybutem DependencyConstructor albo kilka z największą liczbą parametrów, to rzucany jest wyjątek.

3.5 Rozwiązanie

Aby kontener działał wydajnie dla złożonych grafów zależności, należy jak najwięcej informacji przechowywać w cache i należy to robić mądrze. W tym celu wykorzystałem Reflection.Emit, aby zapamiętać ciąg operacji niezbędnych do stworzenia obiektu nowej klasy (na potrzeby metody Resolve). Wykorzystałem to na dwa sposoby, które zostały opisane poniżej.

3.5.1 Rozwiązanie 1 - PartialEmitFunction

W pierwszym rozwiązaniu, które nazwałem PartialEmitFunction tworzę delegata z wykorzystaniem Reflection.Emit. Delegat ten jako parametr przyjmuje listę obiektów, które są potrzebne do stworzenia obiektu danej klasy wykorzystując odpowiedni kon-

struktur. Jeśli kontener do stworzenia obiektu danej klasy wybrał konstruktor bezparametrowy, to do takiego delegata trafi pusta lista. Jeśli natomiast został wybrany konstruktor, który w parametrze przynmuje obiekty jakiś typów, to lista tych obiektów w odpowiedniej kolejności zostanie przekazana do delegata (np. obiekt, który chcemy stworzyć w konstruktorze który został wybrany potrzebuje obiektu klasy A i B, to do delegata zostanie przekazana lista zawierająca obiekt klasy A i B w kolejności takiej, jakiej są one zdefiniowane z konstruktorze).

Pseudokod tego rozwiązania wygląda następująco:

1. Dla każdego argumentu umieść ten argument na stosie
2. Na stosie umieść konstruktor docelowego typu
3. Wywołaj konstruktor i stworzony obiekt umieść na szczycie stosu
4. Zwróć obiekt ze szczytu stosu

To rozwiązanie nazwałem "Partial", ponieważ tylko część operacji niezbędnych do stworzenia obiektu jest zakodowanych w języku IL (pobranie argumentów i stworzenie obiektu). W tym rozwiązaniu musimy wcześniej stworzyć obiekty, które są wymagane przez konstruktor docelowego obiektu.

To rozwiązanie powinno lepiej się sprawdzać w sytuacjach, gdy wierzchołki w grafie zależności często się powtarzają i w aplikacji nie wykonujemy zbyt często operacji "Resolve".

3.5.2 Rozwiązanie 2 - FullEmitFunction

W drugim rozwiązaniu, które nazwałem FullEmitFunction tworzę delegata bezparametrowego. To rozwiązanie samo tworzy wszystkie obiekty, które są mu potrzebne do stworzenia docelowego obiektu. Działa on rekurencyjnie i najpierw na stosie umieszcza wszystkie operacje niezbędne do stworzenia wszystkich "podobiektów" (obiektów wymaganych w konstruktorze docelowego obiektu), a następnie tworzy docelowy obiekt. Pseudokod tego rozwiązania wygląda następująco:

1. Czy konstruktor danego typu potrzebuje jakiś argument?
 - (a) Tak - Dla każdego parametru konstruktora wywołaj rekurencyjnie funkcję z argumentem wejściowym jako typ danego parametru.
 - (b) Nie - Idź dalej.
2. Na stosie umieść konstruktor docelowego typu
3. Wywołaj konstruktor i stworzony obiekt umieść na szczycie stosu
4. Zwróć obiekt ze szczytu stosu

Jak łatwo zauważyć, to rozwiązanie jest pełne ("Full"), ponieważ tworzenie wszystkich niezbędnych obiektów jest zakodowane w języku IL w jednej metodzie.

To rozwiązanie powinno lepiej się sprawdzić w sytuacjach, gdy wierzchołki w grafie zależności rzadko się powtarzają i w aplikacji dużo razy wykonujemy operację "Resolve".

4 Testy wydajnościowe

Do przeprowadzania testów wydajnościowych stworzyłem osobną aplikację w której zaimplementowałem 3 przypadki testowe (przypadek testowy A, przypadek testowy B i przypadek testowy C). Każdy z przypadków testowych sprawdza czas wykonania operacji "Resolve" dla różnych rodzajów rejestracji (operacji Register).

Każdy z przypadków testowych wykonuje testy dla następującej rejestracji:

- Register as Singleton
- Register as Transient
- Register as TransientSingleton
- Register as PerThread (dla niektórych przemysłowych implementacji - PerScope)

Każdy z testów dla każdej implementacji wstrzykiwania zależności był uruchamiany w osobnym procesie. Każdy test był uruchamiany 10 razy, a w wynikach zostały przedstawione następujące czasy: minimalny, maksymalny i średni.

4.0.1 Register as Singleton

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Singleton", czyli obiekt jest tworzony raz i potem cały czas jest zwracany ten sam obiekt.

4.0.2 Register as Transient

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

4.0.3 Register as TransientSingleton

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Transient" za wyjątkiem typów, które mają konstruktor bezparametrowy - te typy są zarejestrowane jako singleton.

4.0.4 Register as PerThread

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

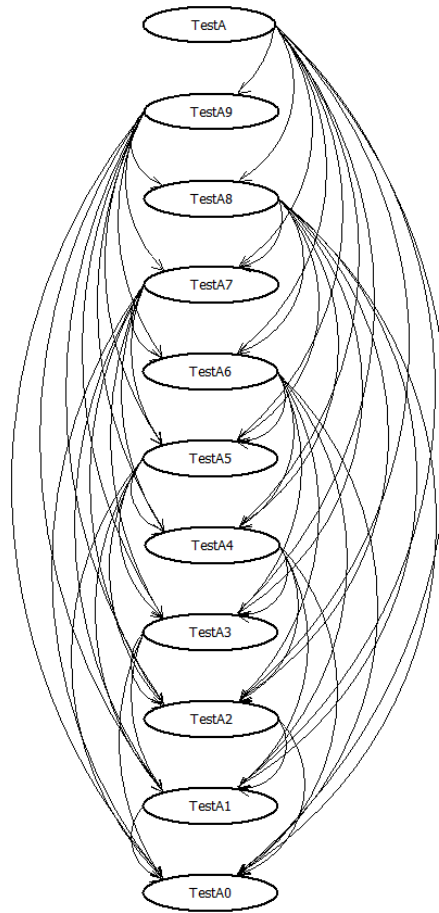
4.1 Przypadek testowy A

4.1.1 Opis

W tym teście mamy zdefiniowanych 11 typów i każdy z nich przyjmuje w konstruktorze od jeden mniej parametr mniej niż typ poprzedni (czyli przyjmują one kolejno od 10 do 0 parametrów w konstruktorze). Typem głównym, a zarazem typem o największej licznie parametrów, jest typ "TestA". Przyjmuje on w konstruktorze 10 parametrów, kolejno następujących typów: "TestA0", "TestA1", "TestA2", "TestA3", "TestA4", "TestA5", "TestA6", "TestA7", "TestA8", "TestA9". Każdy z tych 10 typów w konstruktorze przyjmuje tyle obiekt, jaki ma numer w nazwie (czyli obiekt typu "TestA0" ma konstruktor bezparametrowy, obiekt typu "TestA1" ma konstruktor z jednym parametrem; i tak dalej aż do typu "TestA9", który ma konstruktor z dziewięcioma parametrami). Każdy z tych typów jako parametry w konstruktorze przyjmuje kolejne obiekty typów z niższym numerkiem (czyli obiekt typu "TestA1" w konstruktorze przyjmuje parametr typu "TestA0", obiekt typu "TestA2" przyjmuje w konstruktorze obiekty typu "TestA0" i "TestA1"; i tak dalej aż do typu "TestA9", który w konstruktorze przyjmuje parametry z typami od "TestA0" do "TestA8"). Graf zależności poszczególnych typów został przedstawiony na Rys. 1.

Łatwo 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, obiekt typu TestA0),
- TestA4 - 16 obiektów,
- TestA5 - 32 obiektów,
- TestA6 - 64 obiektów,
- TestA7 - 128 obiektów,
- TestA8 - 256 obiektów,
- TestA9 - 512 obiektów,
- TestA - 1 024 obiektów.



Rys. 1: Graf zależności dla testu A.

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.

4.1.2 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
DryLoc	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Grace	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	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	6	6
NiquIoCPartial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NiquIoCFull	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2
SimpleInjector	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
StructureMap	9	10	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10
Unity	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Najlepiej poradziły sobie najpopularniejsze rozwiązania - Windsor i Autofac. Rozwiązanie NiquIoCPartial uplasowało się na 3 miejscu. Najślabiej poradził sobie rozwiązania StructureMap, Unity oraz Ninject.

4.1.3 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	59	63	60	593	635	602
DryLoc	14	14	14	14	15	14	16	16	16	29	29	29
Grace	15	15	15	15	16	15	18	19	18	36	37	36
LightInject	10	10	10	10	10	10	11	12	11	19	20	19
Ninject	10	11	10	86	91	87	843	1089	875	8585	9298	8759
NiquIoCPartial	1	1	1	3	3	3	19	20	19	170	173	171
NiquIoCFull	8	8	8	8	8	8	9	10	9	18	19	18
SimpleInjector	13	14	13	13	14	13	15	15	15	28	29	29
StructureMap	10	10	10	13	13	13	53	55	54	415	445	420
Unity	8	8	8	15	15	15	84	86	84	762	765	764
Windsor	1	1	1	16	18	16	151	156	152	1504	1652	1533

Gdy mamy tylko 1 operację najlepiej radzi sobie Autofac, a zaraz za nim NiquIoCPartial i Windsor. Najślabiej Grace, DryLoc i SimplyInjector.

Dla 10 operacji sytuacja lekko zaczyna się 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, dużo 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).

Gdy mamy 100 operacji na prowadzenie wysunęły się mniej popularne rozwiązania, które prawdopodobnie mają najlepsze cachowanie. Na pierwszym miejscu jest Niqu-

IoCFull, a kolejne miejsca to LightInject i SimpleInjector. Do grona najsłabszym (Ninject, Windsor, Unity) w tym przypadku dołączył również Autofac, który z drugiego miejsca spadł na ósme.

Dla przypadku z 1000 operacji do czołówki dołączył DryIoc (czasy zbliżone do SimpleInjector). Na pierwszym miejscu wciąż pozostaje NiquIoCFull, a zaraz za nim LightInject i SimpleInjector. Pozostałe rozwiązania mają czasy od kilka do kilkanaście razy gorsze.

Warto tutaj zaznaczyć, że najmniejszy wzrost czasu miały kolejno rozwiązania: LightInject, NiquIoCFull, SimpleInjector, DryIoc oraz Grace.

4.1.4 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	6	6	54	56	54	540	566	544
DryIoc	18	18	18	19	19	19	20	20	20	31	32	31
Grace	9	9	9	9	10	9	10	11	10	18	18	18
LightInject	14	14	14	14	14	14	14	14	14	20	20	20
Ninject	9	10	10	67	73	69	637	678	652	6426	6810	6544
NiquIoCPartial	1	1	1	2	2	2	14	14	14	118	120	118
NiquIoCFull	5	5	5	5	6	5	6	6	6	10	11	10
SimpleInjector	9	9	9	9	10	9	10	10	10	17	17	17
StructureMap	9	9	9	12	13	12	35	38	36	252	287	257
Unity	8	8	8	14	14	14	72	72	72	643	650	646
Windsor	1	1	1	12	12	12	112	129	117	1108	1386	1151

«opis»

4.1.5 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	73	81	76	72	78	75	74	79	76	74	83	77
Grace	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4
LightInject	51	52	51	51	52	51	51	52	51	51	52	51
Ninject	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6
NiquIoCPartial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NiquIoCFull	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SimpleInjector	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	8	8
StructureMap	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10
Unity	7	7	7	7	8	7	7	7	7	8	8	8
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

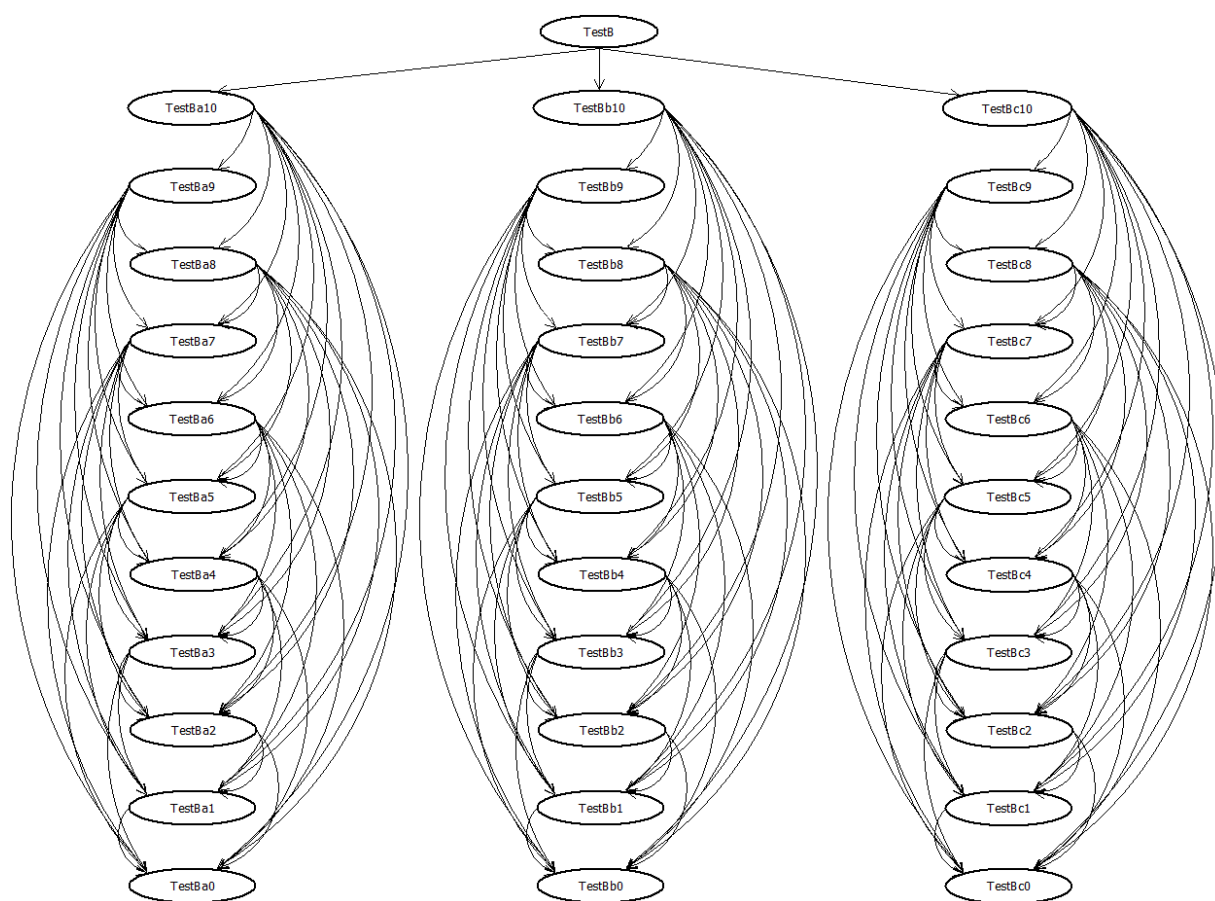
Czasy dla tego przypadku powinny być zbliżone do czasów dla Singleton, ponieważ wszystko było uruchamiane w jednym wątku. Niestety część rozwiązań sobie z tym nie poradziła. Czasy zbliżone do czasów dla Singletona posiadają: Autofac, Grace, Ninject, NiquIoCPartial, NiquIoCFull, StructureMap, Unity i Windsor, a dla DryIoC, LightInject i SimpleInjector czasy są od kilka do nawet kilkadziesiąt razy większe.

Jeśli chodzi o najlepsze rozwiązania, to wyglądają one tak samo jak dla Singleton - Windsor, i Autofac i NiquIoCPartial. Najslabiej poradził sobie rozwiązania LightInject i DryIoC. Także w drugiej części tabeli (pod względem czasów) znalazły się Unity, SimpleInjector i StructureMap.

4.2 Przypadek testowy B

4.2.1 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. 2 przedstawia te zależności.



Rys. 2: Graf zależności dla testu B.

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),
- 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, obiekt typu TestBa0),
- TestBa4 - 16 obiektów,
- TestBa5 - 32 obiektów,
- TestBa6 - 64 obiektów,
- TestBa7 - 128 obiektów,

- TestBa8 - 256 obiektów,
- TestBa9 - 512 obiektów,
- TestBa10 - 1 024 obiektów,
- ... (dla TestBb i TestBc sytuacja wygląda dokładnie tak samo jak dla TestBa),
- 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.

4.2.2 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	9	8	8	9	9	8	9	9	8	9	8
Grace	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
LightInject	6	7	6	6	7	6	6	6	6	6	7	6
Ninject	9	9	9	9	9	9	9	10	9	12	13	12
NiquIoCPartial	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
NiquIoCFull	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SimpleInjector	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
StructureMap	30	30	30	30	30	30	30	30	30	32	33	33
Unity	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dla tego przypadku testowego również najlepiej poradziły sobie najpopularniejsze rozwiązania - Aurofac i Windso. Kontener NiquIoCPartial uplasował się tutaj również na 3 miejscu. Najślabiej poradził sobie rozwiązania StructureMap, Unity oraz Ninject.

4.2.3 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	23	22	194	218	204	1972	2043	2008
DryLoc	44	46	45	45	46	45	52	55	53	100	104	102
Grace	51	52	51	52	53	52	58	59	58	123	126	124
LightInject	32	32	32	32	33	32	37	39	37	71	72	72
Ninject	35	42	36	271	297	277	2697	3014	2787	27790	28442	28038
NiquIoCPartial	5	5	5	10	10	10	57	58	58	522	529	524
NiquIoCFull	26	32	27	26	27	26	32	33	32	66	67	66
SimpleInjector	40	40	40	40	41	41	46	47	47	94	95	94
StructureMap	33	33	33	44	45	45	162	165	163	1296	1364	1311
Unity	27	28	28	48	50	49	257	265	258	2324	2334	2329
Windsor	6	6	6	48	64	50	466	498	474	4627	4893	4702

Gdy mamy tylko 1 operację najlepiej radzi sobie Autofac, a zaraz za nim NiquIoCPartial i Windsor. Najsłabiej DryLoc i SimpleInjector.

Gdy mamy 10 operacji znacząco lepiej niż reszta radzi sobie NiquIoCPartial - czasy ponad dwa mniejsze niż dla zajmującego drugie Autofac. Kolejne miejsca należą do NiquIoCFull i LightInject. Pozostałe rozwiązania miałyby podobne, trochę słabsze czasy. Najgorzej poradził sobie Ninject, który czas miał ponad 5 razy większy niż rozwiązanie z przedostatnim czasem (Grace).

Tutaj również gdy mamy 100 operacji na prowadzenie wysunęły się mniej popularne rozwiązania. Kolejne miejsca to: NiquIoCFull, LightInject i SimpleInjector. Najsłabiej w tym przypadku poradziły sobie Ninject, Windsor, Unity i Autofac. Grace w 9 miejsca od końca awansował na 6, a NiquIoCPartial z pierwszego spadł na 5.

Dla przypadku z 1000 operacji do czołówki dołączył DryLoc i Grace - czasy trochę słabsze niż SimpleInjector. Pierwsze trzy miejsca nie uległy zmianie.

Tutaj najmniejszy wzrost czasu miały rozwiązania: NiquIoCFull, LightInject, SimpleInjector, DryLoc oraz Grace.

4.2.4 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	1	1	1	18	19	18	175	179	176	1732	1806	1751
DryLoc	56	56	56	57	57	57	63	64	63	107	108	108
Grace	30	30	30	30	30	30	34	35	34	67	68	68
LightInject	47	48	48	48	49	48	50	52	51	80	80	80
Ninject	29	31	30	214	220	217	2016	2102	2045	20354	21113	20622
NiquIoCPartial	4	5	5	8	8	8	42	42	42	369	371	369
NiquIoCFull	16	16	16	16	16	16	18	20	18	37	38	37
SimpleInjector	27	28	28	28	28	28	32	33	32	60	62	61
StructureMap	32	33	32	39	40	39	111	118	113	795	805	800
Unity	27	28	28	46	47	46	225	228	227	2010	2025	2018
Windsor	3	4	3	35	36	35	338	395	348	3368	3589	3416

«opis»

4.2.5 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
DryLoc	247	260	252	247	257	250	247	271	255	256	272	263
Grace	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
LightInject	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Ninject	9	9	9	9	9	9	9	10	9	12	13	12
NiquIoCPartial	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	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	23	23
StructureMap	30	30	30	30	30	30	30	30	30	32	33	33
Unity	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

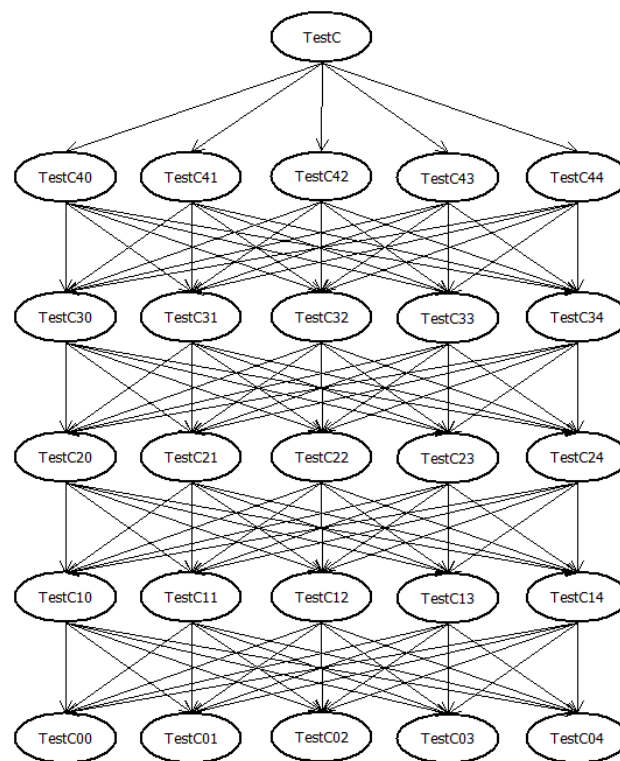
Tutaj również nie wszystkie rozwiązania mają czasy zbliżone do Singleton. Są to te same rozwiązania co dla przypadku testowego B, czyli: DryLoc, Grace, LightInject, SimpleInjector.

Tak samo jak w przypadku Singleton czołówka wygląda następująco: Autofac, Windsor i NiquIoCPartial. Kolejne miejsca to NiquIoCFull, Ninject i Grace. Najslabiej poradził sobie rozwiązania LightInject i DryLoc.

4.3 Przypadek testowy C

4.3.1 Opis

W tym teście mamy zdefiniowanych 26 typów. 5 z tych typów ma konstruktor bezparametrowy, a pozostałe 21 ma konstruktor z pięcioma parametrami. Typem głównym jest typ "TestC". Obiekt tego typu w konstruktorze przyjmuje 5 innych 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 z pierwszym numerkiem o 1 mniejszym (czyli przyjmują w konstruktorze obiekty typów od "TestC30" do "TestC34"). Dla typów od "TestC30" do "TestC34" zasad z konstruktorami wygląda tak samo. Na końcu dochodzimy do typów od "TestC00" do "TestC04", które mają konstruktor bezparametrowy. Rys. 3 przedstawia graf zależności typów dla tego przypadku testowego.



Rys. 3: Graf zależności dla testu C.

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

- 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, 3 125 obiektów typów od TestC00 do TestC04 - co daje w sumie 3 906 obiektów.

4.3.2 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	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5
SimpleInjector	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
StructureMap	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23
Unity	15	16	15	15	16	15	15	16	16	16	16	16
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

«opis»

4.3.3 Wyniki dla Transient

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	2	2	2	24	25	24	234	240	235	2315	2330	2322
DryLoc	39	39	39	40	40	40	47	48	47	98	99	98
Grace	60	61	61	61	64	62	72	73	72	150	155	151
LightInject	36	37	36	36	37	37	43	44	44	86	86	86
Ninject	38	40	38	343	354	348	3386	3498	3432	36355	37506	36938
NiquIoCPartial	3	4	3	10	10	10	71	72	71	676	683	678
NiquIoCFull	31	33	31	31	33	32	38	38	38	81	86	84
SimpleInjector	40	41	40	41	42	41	49	49	49	113	114	114
StructureMap	26	26	26	40	40	40	179	182	180	1530	1553	1542
Unity	19	19	19	47	49	47	311	351	316	2954	3069	2974
Windsor	6	7	7	59	75	61	575	585	581	5755	6318	5846

«opis»

4.3.4 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10			100			1000		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	1	2	1	19	20	19	182	188	184	1790	1827	1806
DryLoc	58	58	58	59	107	64	64	65	64	104	106	105
Grace	22	22	22	22	23	22	25	25	25	43	44	44
LightInject	52	52	52	52	54	52	55	55	55	82	84	83
Ninject	26	28	27	199	219	204	1908	2017	1938	19238	20310	19572
NiquIoCPartial	3	3	3	6	7	6	38	38	38	337	346	341
NiquIoCFull	12	13	12	12	12	12	13	14	13	25	25	25
SimpleInjector	21	21	21	21	21	21	23	24	23	44	44	44
StructureMap	22	22	22	29	29	29	79	80	80	546	549	547
Unity	18	18	18	39	40	40	240	242	241	2246	2372	2268
Windsor	3	3	3	32	33	33	319	383	328	3162	3316	3195

«opis»

4.3.5 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
DryLoc	155	156	155	155	155	155	155	157	155	155	156	156
Grace	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
LightInject	523	541	526	523	529	526	523	527	525	523	528	527
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	15	16	16	15	16	16	15	16	16	16	16	16
StructureMap	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23
Unity	15	16	15	15	16	16	15	16	16	16	16	16
Windsor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

«opis»

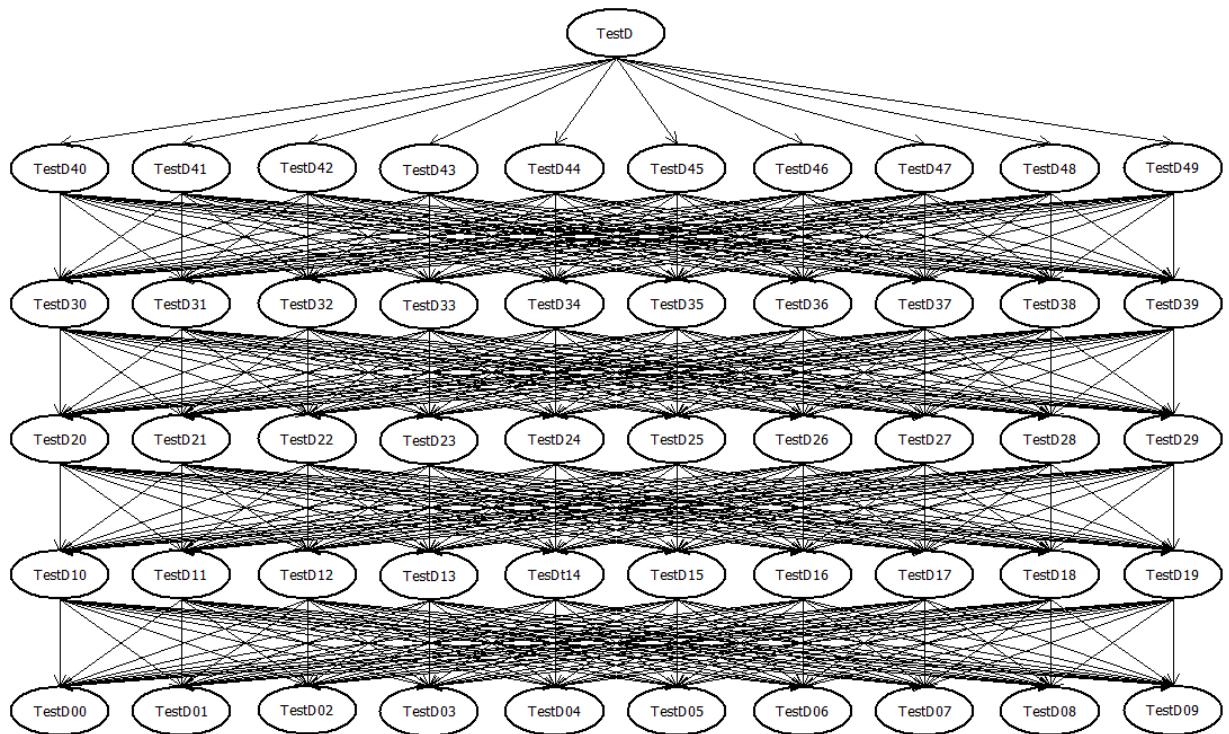
4.4 Przypadek testowy D

4.4.1 Opis

W tym teście mamy zdefiniowanych 51 typów. 10 z tych typów ma konstruktor bezparametrowy, a pozostałe 41 ma konstruktor z dziesięcioma parametrami. Typem głównym jest typ "TestD". Obiekt tego typu w konstruktorze przyjmuje 10 innych obiektów, kolejno następujących typów: "TestD40", "TestD41", "TestD42", "TestD43", "TestD44", "TestD45", "TestD46", "TestD47", "TestD48", "TestD49". Każdy z tych 10 typów w konstruktorze przyjmuje 10 obiektów o takich samych typach, ale z pierwszym numerkiem o 1 mniejszym (czyli obiekty typów od "TestD40" do "TestD49", przyjmują w konstruktorze obiekty typów od "TestD30" do "TestD39"). Dla typów od "TestD30" do "TestD39" zasad z konstruktorami wygląda tak samo. Na końcu dochodzimy do typów od "TestD00" do "TestD09", które mają konstruktor bezparametrowy. Rys. 4 przedstawia graf zależności typów dla tego przypadku testowego.

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

- 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,



Rys. 4: Graf zależności dla testu D.

- 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..

4.4.2 Wyniki dla Singleton

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0
DryIoc	10	11	10	10	13	10
Grace	17	20	18	17	18	18
LightInject	14	14	14	14	14	14
Ninject	21	21	21	21	22	21
NiquIoCPartial	8	9	9	8	9	9
NiquIoCFull	18	18	18	18	18	18
SimpleInjector	11	12	11	11	12	11
StructureMap	51	51	51	51	51	51
Unity	51	52	52	51	52	52
Windsor	0	0	0	0	0	0

Podobnie jak dla przypadku testowego A, tutaj również najlepiej poradziły sobie najpopularniejsze rozwiązania - Windsor i Autofac. Na trzecim miejscu znajduje się rozwiązanie NiquIoCPartial. Najslabiej poradził sobie rozwiązania StructureMap i Unity.

4.4.3 Wyniki dla Transient

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	145	169	156	1302	1352	1318
DryIoc	1038	1086	1062	1068	1101	1089
Grace	1480	1553	1507	1511	1586	1551
LightInject	818	839	831	870	878	873
Ninject	1039	1189	1068	10104	10604	10299
NiquIoCPartial	36	37	36	284	304	289
NiquIoCFull	568	573	570	628	651	635
SimpleInjector	175	176	175	203	204	204
StructureMap	104	106	105	580	635	588
Unity	149	151	150	1069	1089	1074
Windsor	176	204	181	1777	1800	1785

Dla tego testu rozbieżność czasów jest dość duża.

Gdy mamy tylko 1 operację najlepiej radzi sobie NiquIoCPartial. Czasy pozostały są znacząco większe. Najslabiej poradziły sobie Grace, Ninject, DryIoc i LightInject.

Dla 10 operacji znacząco najlepiej radzi sobie SimpleInjector i NiquIoCPartial. Czołówkę zamykają StructureMap i NiquIoCFull. Pozostałe rozwiązania miały podobne, dużo słabsze czasy. Wyjątkiem jest ponownie Ninject, którego czasy są kilkukrotnie większe. W tym przypadku najmniejszy wzrost czasu miały kolejno rozwiązania: DryIoc, SimpleInjector, LightInject, Grace oraz NiquIoCFull.

4.4.4 Wyniki dla TransientSingleton

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	77	78	77	898	917	904
DryLoc	891	896	893	921	959	928
Grace	362	369	364	369	378	371
LightInject	1278	1368	1303	1290	1332	1303
Ninject	511	561	524	4824	5067	4881
NiquIoCPartial	17	17	17	100	101	101
NiquIoCFull	143	144	143	150	158	154
SimpleInjector	85	86	85	90	91	90
StructureMap	60	66	61	166	169	167
Unity	116	117	116	693	699	695
Windsor	83	89	85	832	918	853

«opis»

4.4.5 Wyniki dla PerThread

Ilość	1			10		
	min	max	avg	min	max	avg
Autofac	0	0	0	0	0	0
DryLoc	1062	1126	1093	1078	1117	1097
Grace	28	28	28	28	28	28
LightInject	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Ninject	21	21	21	21	22	21
NiquIoCPartial	8	9	9	8	9	9
NiquIoCFull	18	18	18	18	18	18
SimpleInjector	46	46	46	46	47	46
StructureMap	51	51	51	51	51	51
Unity	51	53	52	51	52	52
Windsor	0	0	0	0	0	0

Tutaj tak samo jak dla przypadku testowego A czasy powinny być zbliżone do czasów dla Singleton. Niestety dla tego testu również nie wszystkie rozwiązania sobie z tym poradziły. Dużo słabsze czasy niż w przypadku Singleton miały rozwiązania: DryLoc, Grace, LightInject, SimpleInjector.

Zarówno dla 1 jak i 10 powtórzeń najlepiej radzi sobie Autofac i Windsor. Podium po-
nownie zamyka NiquIoCPartial.

Najgorzej poradził sobie tutaj LightInject, który trwał ponad 20 minut (stąd w rozwią-
żaniu czas "-1"). DryLoc również poradził sobie bardzo słabo - czasy ponad 20 raz gor-
sze niż rozwiązanie na miejscu o 1 wyższym (Unity).

5 Podsumowanie

<parę słów na koniec>

Literatura

- [1] Mark Seemann, Dependency Injection in .NET, 2012
- [2] Serge Lidin, Expert .NET 2.0 IL Assembler, 2006