

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	2
1.1	Cel pracy	2
2	Wstrzykiwanie zależności	3
3	Implementacja	3
3.1	Microsoft Intermediate Language	5
3.2	Reflection.Emit	5
3.3	Rozwiązanie	5
3.4	Rozwiązanie 1 - PartialEmitFunction	5
3.5	Rozwiązanie 2 - FullEmitFunction	6
4	Testy wydajnościowe	6
4.1	Przypadek testowy A	7
4.2	Przypadek testowy B	8
4.3	Przypadek testowy C	9
5	Podsumowanie	12

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 Autofac, StructureMap, Unity i Windsor, a najbardziej wydajnymi DryIoc, LightInject i SimpleInjector. 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.

2 Wstrzykiwanie zależności

Jest to zbiór zasad projektowania oprogramowania i wzorców, które pozwalają nam rozwijać luźno powiązany kod [1].

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.

3 Implementacja

Stworzyłem interfejs IContainer, który zawiera w sobie metody niezbędne 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).

Pierwsze 4 metody służą do rejestracji typów do kontenera. W pierwszej metodzie możemy zarejestrować 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 możemy zarejestrować 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 pierwszy metod zwraca interfejs IContainerMember, który umożliwia nam zarejestrowanie danej klasy lub interfejsu z określonym menadżerem czasu życia. Jest to po to, ponieważ dla różnych przypadków biznesowych możemy potrzebować, aby obiekt danego typu miał konkretny czas życia. Ten interfejs daje nam możliwość ustawienia czasu życia na:

- Singleton;
- Transient;
- PerThread;
- PerHttpContext;
- Custom; (własna implementacja interfejsu `IObjectLifetimeManager`).

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 to 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 zwsze ten sam, zwsze różny albo ten sam tylko dla określonych sytuacji (np. ten sam dla tego samego wątku albo ten sam dla tego samego żądania).

Metoda piąta - `Resolve`, to główna metoda. `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`. 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 danej klasy tworzy się przy użyciu konstruktora. Dana 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:

- Konstruktor z atrybutem `DependencyConstructor`;
- Konstruktor z największą liczbą parametrów.

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

3.1 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.

3.2 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 wczepienia zdefiniowanych operacji IL.

3.3 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.

3.4 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 konstruktor. 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 np. 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 potrzebne do stworzenia docelowego obiektu.

Zalety tego rozwiązania:

- 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 Rozwiązanie 2 - FullEmitFunction

W drugim rozwiązaniu, które nazwałem FullEmitFunction tworzę delegata bezparametrowego. Sam tworzy on wszystkie obiekty, które są mu potrzebne do stworzenia docelowego obiektu. Działa on rekurencyjnie i najpierw na stosie umieszcza wszystkie operacje niezbędne do stworzenia obiektu danego typu, a następnie tworzy docelowy obiekt.

Pseudokod tego rozwiązania wygląda następująco: 1. Czy konstruktor danego typu potrzebuje jakiś argument?

1b. Tak - Dla każdego parametru konstruktora wywołaj rekurencyjnie funkcję z argumentem wejściowym jako typ parametru.

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 wszystkie niezbędne obiekty zostaną stworzone przy użyciu IL w jednej metodzie.

Zalety tego rozwiązania:

- 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 szybkość wykonania operacji "Resolve" dla różnych rejestracji (operacji Register).

Swoje dwa rozwiązania porównałem z 3 najszybszymi (według rankingu na stronie: <http://www.palmmedia.de/Blog/2011/8/30/ioc-container-benchmark-performance-comparison> - dane brane z dnia 01-01-2016, były to: DryIoc, LightInject oraz SimpleInjector) oraz 4 najbardziej popularnymi według pobrań z NuGet (były to: Unity - ponad 5.2 mln pobrań, Autofac - ponad 3.7 mln pobrań, Windsor - ponad 1.4 mln pobrań, StructureMap - ponad 1.6 mln pobrań - dane z dnia 20-02-2017).

Każdy z przypadków testowych wykonuje następujące testy:

- register as Singleton,
- register as Transient,
- register as PerThread (dla niektórych kontenerów - PerScope).

Każdy z testów dla każdego kontenera był uruchamiany w osobnym procesie. Każdy test był uruchamiany 100(?) razy i w wynikach zostały przedstawione następujące czasy: minimalny, maksymalny i średni.

4.1 Przypadek testowy A

W tym teście mamy zdefiniowanych 11 typów i każdy z nich przyjmuje w konstruktorze od jeden mniej parametr mniej niż typ poprzedni. 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 konstruktore 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").

Konstruktory poszczególnych typów wyglądają następująco:

- TestA0(),
- TestA1(TestA0 testA0),
- TestA2(TestA0 testA0, TestA1 testA1),
- TestA3(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2),
- TestA4(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3),
- TestA5(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3, TestA4 testA4),
- TestA6(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3, TestA4 testA4, TestA5 testA5),
- TestA7(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3, TestA4 testA4, TestA5 testA5, TestA6 testA6),
- TestA8(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3, TestA4 testA4, TestA5 testA5, TestA6 testA6, TestA7 testA7),
- TestA9(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3, TestA4 testA4, TestA5 testA5, TestA6 testA6, TestA7 testA7, TestA8 testA8),
- TestA(TestA0 testA0, TestA1 testA1, TestA2 testA2, TestA3 testA3, TestA4 testA4, TestA5 testA5, TestA6 testA6, TestA7 testA7, TestA8 testA8, TestA9 testA9).

Jak łatwo zauważyć 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.

Zatem tworząc 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, 512 obiektów typu TestA0.

4.2 Przypadek testowy B

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 "TestB". Obiekt tego typu w konstruktorze przyjmuje 10 innych obiektów, kolejno następujących typów: "TestB40", "TestB41", "TestB42", "TestB43", "TestB44", "TestB45", "TestB46", "TestB47", "TestB48", "TestB49". 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 "TestB40" do "TestB49", przyjmują w konstruktorze obiekty typów od "TestB30" do "TestB39").

Konstruktory typów bezparametrów wyglądają następująco:

- TestB00(), TestB01(), TestB02(), TestB03(), TestB04(), TestB05(), TestB06(), TestB07(), TestB08(), TestB09().

Konstruktory typów od "TestB10" do typu "TestB19" wyglądają następująco:

- TestB10(TestB00 testB00, TestB01 testB01, TestB02 testB02, TestB03 testB03, TestB04 testB04, TestB05 testB05, TestB06 testB06, TestB07 testB07, TestB08 testB08, TestB09 testB09).

Konstruktory typów od "TestB20" do typu "TestB29" wyglądają następująco:

- TestB20(TestB10 testB10, TestB11 testB11, TestB12 testB12, TestB13 testB13, TestB14 testB14, TestB15 testB15, TestB16 testB16, TestB17 testB17, TestB18 testB18, TestB19 testB19).

Konstruktory typów od "TestB30" do typu "TestB39" wyglądają następująco:

- TestB30(TestB20 testB20, TestB21 testB21, TestB22 testB22, TestB23 testB23, TestB24 testB24, TestB25 testB25, TestB26 testB26, TestB27 testB27, TestB28 testB28, TestB29 testB29).

Konstruktory typów od "TestB40" do typu "TestB49" wyglądają następująco:

- TestB40(TestB30 testB30, TestB31 testB31, TestB32 testB32, TestB33 testB33, TestB34 testB34, TestB35 testB35, TestB36 testB36, TestB37 testB37, TestB38 testB38, TestB39 testB39).

Konstruktory typu "TestB" wyglądają następująco:

- TestB(TestB40 testB40, TestB41 testB41, TestB42 testB42, TestB43 testB43, TestB44 testB44, TestB45 testB45, TestB46 testB46, TestB47 testB47, TestB48 testB48, TestB49 testB49).

Jak łatwo zauważyć tworząc obiekty poszczególnych typów ilość tworzonych obiektów rośnie ponad dziesięciokrotnie:

- typy od TestB00 do TestB09 - 1 obiekt,
- typy od TestB10 do TestB19 - 11 obiektów (obiekt danego typu plus 10 obiektów typów od TestB00 do TestB09),
- typy od TestB20 do TestB29 - 111 obiektów (obiekt danego typu plus 10 obiektów typów od TestB10 do TestB19),
- typy od TestB30 do TestB39 - 1 111 obiektów,
- typy od TestB40 do TestB49 - 11 111 obiektów,
- TestB - 111 111 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestB, stworzymy: 1 obiekt typu TestB, 10 obiektów typów od TestB40 do TestB49, 100 obiektów typów od TestB30 do TestB39, 1 000 obiektów typów od TestB20 do TestB29, 10 000 obiektów typów od TestB10 do TestB19, 100 000 obiektów typów od TestB00 do TestB09.

4.3 Przypadek testowy C

Ten test jest bardzo podobny do test A, tylko dochodzi nam 1 dodatkowy poziom i w głównym obiekcie ("TestC") w konstruktorze zamiast 11 obiektów od typów od "TestC0" do "TestC10", są 3 typy "TestCa10", "TestCb10", "TestCc10", gdzie każdy z tych typów odpowiada typowi "TestA". Więc w tym te

Konstruktory poszczególnych typów wyglądają następująco:

- TestCa0()
- TestCa1(TestCa0 testCa0),
- TestCa2(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1),
- TestCa3(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2),
- TestCa4(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3),
- TestCa5(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3, TestCa4 testCa4),
- TestCa6(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3, TestCa4 testCa4, TestCa5 testCa5),
- TestCa7(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3, TestCa4 testCa4, TestCa5 testCa5, TestCa6 testCa6),
- TestCa8(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3, TestCa4 testCa4, TestCa5 testCa5, TestCa6 testCa6, TestCa7 testCa7),
- TestCa9(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3, TestCa4 testCa4, TestCa5 testCa5, TestCa6 testCa6, TestCa7 testCa7, TestCa8 testCa8),
- TestCa10(TestCa0 testCa0, TestCa1 testCa1, TestCa2 testCa2, TestCa3 testCa3, TestCa4

testCa4, TestCa5 testCa5, TestCa6 testCa6, TestCa7 testCa7, TestCa8 testCa8, TestCa9 testCa9).

- TestCb0()
- TestCb1(TestCb0 testCb0),
- TestCb2(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1),
- TestCb3(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2),
- TestCb4(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3),
- TestCb5(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3, TestCb4 testCb4),
- TestCb6(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3, TestCb4 testCb4, TestCb5 testCb5),
- TestCb7(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3, TestCb4 testCb4, TestCb5 testCb5, TestCb6 testCb6),
- TestCb8(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3, TestCb4 testCb4, TestCb5 testCb5, TestCb6 testCb6, TestCb7 testCb7),
- TestCb9(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3, TestCb4 testCb4, TestCb5 testCb5, TestCb6 testCb6, TestCb7 testCb7, TestCb8 testCb8),
- TestCb10(TestCb0 testCb0, TestCb1 testCb1, TestCb2 testCb2, TestCb3 testCb3, TestCb4 testCb4, TestCb5 testCb5, TestCb6 testCb6, TestCb7 testCb7, TestCb8 testCb8, TestCb9 testCb9).
- TestCc0()
- TestCc1(TestCc0 testCc0),
- TestCc2(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1),
- TestCc3(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2),
- TestCc4(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3),
- TestCc5(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3, TestCc4 testCc4),
- TestCc6(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3, TestCc4 testCc4, TestCc5 testCc5),
- TestCc7(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3, TestCc4 testCc4, TestCc5 testCc5, TestCc6 testCc6),
- TestCc8(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3, TestCc4 testCc4, TestCc5 testCc5, TestCc6 testCc6, TestCc7 testCc7),
- TestCc9(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3, TestCc4 testCc4, TestCc5 testCc5, TestCc6 testCc6, TestCc7 testCc7, TestCc8 testCc8),
- TestCc10(TestCc0 testCc0, TestCc1 testCc1, TestCc2 testCc2, TestCc3 testCc3, TestCc4 testCc4, TestCc5 testCc5, TestCc6 testCc6, TestCc7 testCc7, TestCc8 testCc8, TestCc9 testCc9).
- TestC(TestCa10 testCa10, TestCb10 testCb10, TestCc10 testCc10).

Jak łatwo zauważyć tworząc obiekty poszczególnych typów ilość tworzonych obiektów rośnie dwukrotnie tak jak dla testu A:

- TestCa0 - 1 obiekt,
- TestCa1 - 2 obiekty (obiekt typu TestCa1 i obiekt typu TestCa0),
- TestCa2 - 4 obiekty (obiekt typu TestCa2, obiekt typu TestCa1 - 2 obiekty, obiekt typu

TestCa0 - 1 obiekt),

- TestCa3 - 8 obiektów (obiekt typu TestCa3, obiekt typu TestCa2 - 4 obiekty, obiekt typu TestCa1, obiekt typu TestCa0),
- TestCa4 - 16 obiektów,
- TestCa5 - 32 obiektów,
- TestCa6 - 64 obiektów,
- TestCa7 - 128 obiektów,
- TestCa8 - 256 obiektów,
- TestCa9 - 512 obiektów,
- TestCa10 - 1 024 obiektów,
- TestCb0 - 1 obiekt,
- TestCb1 - 2 obiekty (obiekt typu TestCb1 i obiekt typu TestCb0),
- TestCb2 - 4 obiekty (obiekt typu TestCb2, obiekt typu TestCb1 - 2 obiekty, obiekt typu TestCb0 - 1 obiekt),
- TestCb3 - 8 obiektów (obiekt typu TestCb3, obiekt typu TestCb2 - 4 obiekty, obiekt typu TestCb1, obiekt typu TestCb0),
- TestCb4 - 16 obiektów,
- TestCb5 - 32 obiektów,
- TestCb6 - 64 obiektów,
- TestCb7 - 128 obiektów,
- TestCb8 - 256 obiektów,
- TestCb9 - 512 obiektów,
- TestCb10 - 1 024 obiektów,
- TestCc0 - 1 obiekt,
- TestCc1 - 2 obiekty (obiekt typu TestCc1 i obiekt typu TestCc0),
- TestCc2 - 4 obiekty (obiekt typu TestCc2, obiekt typu TestCc1 - 2 obiekty, obiekt typu TestCc0 - 1 obiekt),
- TestCc3 - 8 obiektów (obiekt typu TestCc3, obiekt typu TestCc2 - 4 obiekty, obiekt typu TestCc1, obiekt typu TestCc0),
- TestCc4 - 16 obiektów,
- TestCc5 - 32 obiektów,
- TestCc6 - 64 obiektów,
- TestCc7 - 128 obiektów,
- TestCc8 - 256 obiektów,
- TestCc9 - 512 obiektów,
- TestCc10 - 1 024 obiektów,
- TestC - 3 073 obiektów

Zatem tworząc obiekt typu TestC, stworzymy: 1 obiekt typu TestC, 1 obiekt typu TestCa10, TestCb10 i TestCc10, 1 obiekt typu TestCa9, TestCb9 i TestCc9, 2 obiekty typu TestCa8, TestCb8 i TestCc8, 4 obiekty typu TestCa7, TestCb7 i TestCc7, 8 obiektów typu TestCa6, TestCb6 i TestCc6, 16 obiektów typu TestCa5, TestCb5 i TestCc5, 32 obiektów typu TestCa4, TestCb4 i TestCc4, 64 obiektów typu TestCa3, TestCb3 i TestCc3, 128 obiektów typu TestCa2, TestCb2 i TestCc2, 256 obiektów typu TestCa1, TestCb1 i TestCc1, 512 obiektów typu TestCa0, TestCb0 i TestCc0.

5 Podsumowanie

<parę słów na koniec>

Literatura

- [1] Dependency Injection in .NET, Mark Seemann (str. 4-5)
- [2] Expert .NET 2.0 IL Assembler, Serge Lidin (str. 3-7)