Singleton

Singleton – obsah

- **Motivace**
- **Základní myšlenka**
- **Implementace**
- **Problémy**
  - destrukce
  - vícevláknovost
- **Dědičnost**
- **Obecná implementace**
- **Shrnutí**

Singleton – motivace

- **Co mají následující příklady společného?**
  - DatabaseConnectionPool – přiděluje spojení do DB jednotlivým částem aplikace
  - WindowManager – v okenním systému existuje jeden objekt spravující okna
  - Keyboard, display, log – (KDL)
  - PrinterSpooler – více tiskáren, jeden manažer
  - FileSystem
  - System clock

- **Odpověď:**
  - Třídy řešící tyto problémy vyžadují jedinou instanci. Mít více instancí je nežádoucí až nebezpečné.
  - Měly by být lehce přístupné z libovolného místa.

Singleton – naivní implementace

→ základní myšlenka

- **Globální proměnná**
  - zaručuje globální přístupový bod
  - znepřehledňuje namespace a kód
  - nedokáže zaručit jedinou instanci objektu
- **Statická data + statické metody**
  - zaručuje globální přístupový bod
  - zaručuje jedinou instanci
  - problém rozšiřitelnosti – statické metody nemohou být virtuální
  - problém inicializace (závislosti)
  - problém úklidu (kdo to má dělat)
- **Singleton**
  - třída se o svou jedinou instanci stará sama
  - inicializace: konstruktor
  - úklid: destruktor

Singleton – požadavky

- **Zaručení jediné instance**
  - zakázat vytvoření více instancí
  - zakázat kopírování existující instance
  - zakázat rušení
  - instanci spravuje singleton

```
class Singleton {
public:
    static Singleton* Instance();

    ...

protected:
    Singleton();
    Singleton(const Singleton&);
    Singleton& operator=(const Singleton&);
    virtual ~Singleton();

    ...

};
```

- **Globální přístupový bod**
  - použití na libovolném místě kódu
  - přístup poskytován samotnou třídou

- **Možnost rozšiřitelnosti**
  - bez nutnosti zásahu do kódu předka
  - zachovává všechny nástroje objektového programování
    - virtuální metody, abstraktní metody, přetěžování metod
  - pomocí šablon

Singleton – implementace

```
class Singleton {
public:
    static Singleton* instance() {
        if (pInstance != null) {
            pInstance = new Singleton;
        }
        return pInstance;
    }

    void doSomethingUseful() {...}

protected:
    Singleton() {...}
    Singleton(const Singleton&);
    Singleton& operator=(const Singleton&);
    ~Singleton() {...}


    static Singleton* pInstance;
};

Singleton* Singleton::pInstance = 0;



int main(int argc, char** argv) {
    Singleton::instance()->doSomethingUseful();
    ...
}
```

Statická metoda pro přístup k jediné instanci.

Instance se vytvoří při prvním volání `instance()` – až když je to potřeba.

Konstruktor nesmí být public. Inicializuje třídu. Volán jenom zevnitř třídy.

Kopy konstruktor a operátor přiřazení by nemněly být implementovány.

Destruktor nesmí být public, někdo by mohl smazat instanci.

Ukazatel na instanci si spravuje třída sama.

Statická inicializace.

Jednoduchý příklad použití.

Singleton – problémy

- **GoF '95**
  - relativně jednoduchý vzor
  - od té doby rozsáhlé diskuse
  - Vlissides '98:
    - “I used to think it was one of the more trivial of our patterns ... Boy, I was wrong!”

- **Problém destrukce (lifetime)**
  - zodpovědnost za zrušení
  - kdy je objekt zrušen
  - některé objekty je potřeba mít přístupné vždy
- **Problém vícevláknových aplikací**
  - zabezpečení jedinečnosti
- **Dědičnost**

Singleton – destrukce Ostrich

- **'Ostrichovo' řešení (leaking singleton)**
  - problém destrukce ignorovat
  - statická paměť se uvolní automaticky při ukončení procesu
  - jako každá kulturní třída by měl mít destruktor
    - zápis do logu, uzavření spojení, odhlášení, ...
  - diskuze o tom co je a co není leak (memory leak, resource leak)

- **V čem je problém?**
  - destruktor se nezavolá
  - ukládáme statický ukazatel, ne statický objekt

Singleton – destrukce killer

```
class SingletonKiller {
public:
    void setSingleton(Singleton* _instance) {
        instance = _instance;
    }
    Singleton* getSingleton() {
        return instance;
    }
    ~SingletonKiller() {
        delete instance;
    }
private:
    static Singleton* instance;
};

class Singleton {
public:
    static Singleton* instance();
private:
    Singleton();
    ~Singleton();
    Singleton(const Singleton&);
    Singleton& operator=(const Singleton&);


    static SingletonKiller singletonKiller;
};

Singleton* SingletonKiller::instance = 0;
SingletonKiller Singleton::singletonKiller;
```

- Idea
  - ukazatel zabalit do třídy starající se o destrukci
  - kompilátor se stará o zrušení statického objektu singletonKiller, který ve svém destruktoru instanci Singleton zabíjí

2. destruktor killera

killer obsahuje ukazatel na náš singleton

3. destruktor singletonu

1. destrukce statické proměnné

```
Singleton* Singleton::instance() {
    if (!singletonKiller.getSingleton()) {
        singletonKiller.setSingleton(
            new Singleton);
    }
    return singletonKiller.getSingleton();
}
```

Singleton – Meyers

- **Scott Meyers**
  - místo operátoru **`new`**, statická lokální proměnná
  - instanci nedržíme ve statickém ukazateli
  - funkce vracející referenci na statický objekt ve funkci

```
class Singleton {
public:
    static Singleton& instance() {
        static Singleton inst;
        return inst;
    }

private:
    Singleton() {...}
    Singleton(const Singleton&);
    Singleton& operator=(const Singleton&);
    ~Singleton() {...}
};


int main(int argc, char** argv) {
    Singleton& s = Singleton::instance();
    ...
}
```

2. inicializace statického objektu pouze při prvním průchodu registrace atexit

4. návrat zkonstruovaného objektu

3. konstruktor objektu

6. destruktor objektu

1. zavolá se metoda

5. konec programu, destrukce statických proměnných

Singleton – funkce atexit

- **Odstraňování statických proměnných**
  - LIFO – nejdříve se odstraní naposledy inicializované
  - `int atexit(void*(pFunction)());`
  - při vytváření objektu se zaregistruje funkce pro zrušení
  - při ukončení programu se postupně zavolají registrované funkce

```
Singleton& Singleton::instance() {
    extern void __constructSingleton(void*  memory);
    extern void __destroySingleton();

    static bool __initialized = false;
    static char __buffer[sizeof(Singleton)];

    if (!__initialized) {
        __constructSingleton(__buffer);
        atexit(__DestroySingleton);
        __initialized = true;
    }

    return *reinterpret_cast<Singleton*>(__buffer);
}
```

funkce generované kompilátorem

proměnné generované kompilátorem

`__buffer` obsahuje Singleton

volání funkce `__constructSingleton()` zavolá konstruktor na paměti `__buffer`

zaregistruje destrukci

Singleton – pořadí destrukce

- **Dead reference problem**
  - při nevhodném pořadí mohou vzniknout reference na neexistující objekty
  - příklad: singletony Keyboard, Display, Log
    - vytvoření instance Log pouze při chybě

```
inicializace Keyboard
inicializace Display s chybou
inicializace Log a zapsání chyby
konec programu
destrukce Log
destrukce Display
destrukce Keyboard s chybou
reference neexistujícího objektu Log
```

  - destrukce Logu by měla následovat až po destrukcích ostatních singletonů
  - nebo aspoň poznat problém a slušně umřít

Singleton – detekce mrtvé reference

- **Detekce destruovaného objektu**
  - přidání statické proměnné, její nastavení v destruktoru

```
class Singleton {
public:
    static Singleton& instance() {
        if (!pInstance) {
            if (destroyed) throw ...;
            else create();
        }
        return *pInstance;
    }
private:
    static void create() {
        static Singleton inst;
        pInstance = &inst;
    }
    Singleton() {...}
    Singleton(const Singleton&);
    Singleton& operator=(const Singleton&);
    ~Singleton() {
         destroyed = true;
         pInstance = NULL;
    }
    static bool destroyed;
    static Singleton* pInstance;
};
Singleton* Singleton::pInstance = 0;
bool Singleton::destroyed = false;
```

detekce problému

inicializace přesunuta do privátní metody

nastavení zrušení

příznak zrušení

Singleton – Fénix

- **Detekce někdy nestačí - nutnost přístupu k singletonu kdykoliv**
  - idea: bájný pták Fénix vstane ze svého popela
  - znovuvytvoření při detekci zrušeného objektu
  - příklad KDL - Keyboard a Display obyčejné singletony, Log Fénix
  - C++: paměť statických objektů zůstane alokována až do konce běhu programu
  - problém: stav starého mrtvého Singletonu je navždy ztracen

```
class Singleton {
    ...
    void KillPhoenix();
};

void Singleton::OnDeadRef() {
  Create();
  new(pInstance) Singleton;
  atexit(KillPhoenix);
  destroyed = false;
}

void Singleton::KillPhoenix() {
  pInstance->~Singleton();
}
```

zbytek třídy nezměněn

při detekci zrušení se uloží reference na paměť zrušeného objektu

placement new
zavolání konstruktoru na daném místě

registrace destruktoru fénixu

explicitní zavolání destruktoru
nelze delete!

Singleton – dlouhověkost

- **Problémy Fénixe**
  - ztráta stavu, uložení, uzavření, ...
  - Nejasnost C++ standardů ohledně funkce atexit()
- **Singleton s dlouhověkostí**
  - při vytváření singletonu priorita destrukce
  - KDL – Log bude mít větší dlouhověkost
  - explicitní mechanismus destrukce objektů
    - nelze použít destrukci řízenou kompilátorem - pouze dynamické objekty

```
class SomeSingleton { ... };
class SomeClass { ... };
SomeClass* pGlobalObject(new SomeClass);

template <typename T>
    void SetLongevity(T* pDynObj, int longevity);

int main()
{
    SetLongevity(&SomeSingle().Inst(), 5);
    SetLongevity(pGlobalObject, 6);
    ...
}
```

mechanismus by měl fungovat na jakékoliv *(dynamické)* objekty

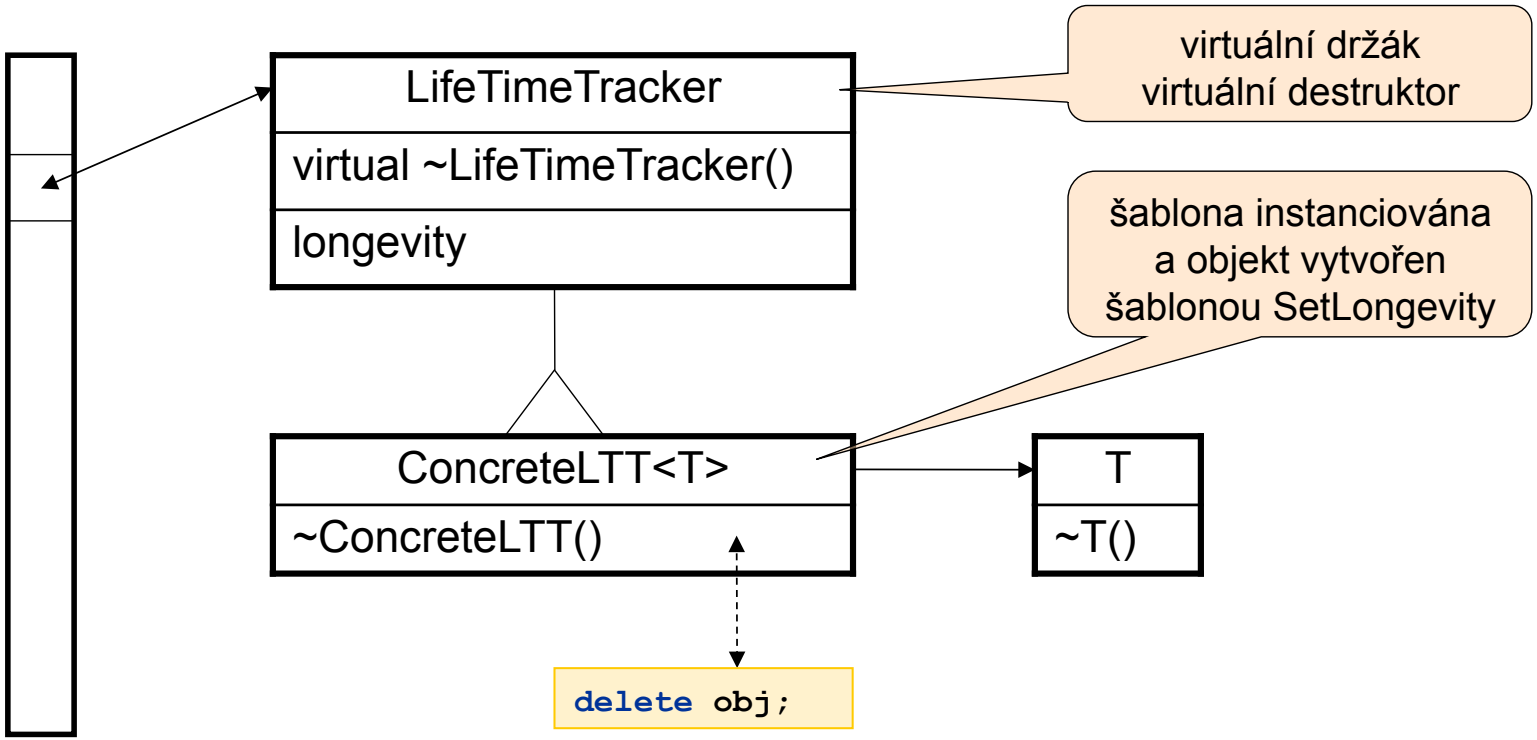
šablona pro nastavování dlouhověkosti

prioritní fronta na zabití

po ukončení programu se objekty destruují v tomto pořadí

Singleton – implementace dlouhověkosti

- **Prioritní fronta**
  - při stejných prioritách se chová jako zásobník
    - C++ pravidlo: dříve inicializované objekty se destruují později
  - čeho to bude fronta?
    - neexistuje společný předek, registrační funkce je šablona
    - ukazatel na abstraktního předka šablon obsahujících ukazatel na objekt



Singleton – implementace dlouhověkosti

```
class LifetimeTracker {
public:
    LifetimeTracker(unsigned int x): longevity(x) {}
    virtual ~LifetimeTracker() = 0;
    friend inline bool Compare(
      unsigned int longevity,
      const LifetimeTracker* p) {
        return p->longevity_ > longevity;
    }
private:
    unsigned int longevity;
};

inline LifetimeTracker::~LifetimeTracker() {}

typedef LifetimeTracker** TrackerArray;
extern TrackerArray pTA;
extern unsigned int elements;

template <typename T> struct Deleter {
    static void Delete(T* pObj) {
        delete pObj;
    }
};
```

virtuální držák

umí zabíjet...

... a porovnávat stáří

vlastní fronta na zabití

způsob zabití
defaultně delete
lze i free, ...

Bylo dříve vejce nebo slepice?

- TrackerArray se musí chovat jako Singleton
  - čímžpádem ale trpí všemi jeho problémy

Singleton – multithreading

- **Vícevláknové prostředí**
  - samo o sobě není pokryté standardy
    - platformově závislé knihovny

```
Singleton& instance() {
    if (!pInstance) {
        pInstance = new Singleton;
    }
    return *pInstance;
}
```

sem se dostanou obě vlákna

dva Singleton objekty

- **Ochrana mutexem**

```
Singleton& instance() {
    Lock guard(mutex);
    if (!pInstance) {
        pInstance = new Singleton;
    }
    return *pInstance;
}
```

konstruktor objektu Lock zamkne
destruktor odemkne

  - velmi neefektivní – zamykání při každém přístupu

Singleton – Double-Checked Locking

- **Double-Checked Locking Pattern**
  - Doug Schmidt & Tim Harrison, *C++ Report 1996*

```
Singleton& Singleton::instance() {
    if (!pInstance) {
        Lock guard(lock);
        if (!pInstance) {
            pInstance = new Singleton;
        }
    }
    return *pInstance;
}
```

test inicializace

sem se může dostat víc vláken

odsud už jen jedno vlákno

zde mi to už nikdo nezmění

- **Už je to konečně správně?**
  - C++ – není!
  - víc vláken – norma nezaručuje vůbec nic
  - speciálně multi- a vícejaderné procesory
    - zápisy a čtení různých vláken nemusí být sekvenční
  - řešení:
    - platformově závislá synchronizační primitiva
    - memory barriers, ...

Singleton – kategorizace

- **Dělení z hlediska vytvoření**
  - dynamické (operátor `new`, `malloc`)
  - statické (Meyers singleton)
- **Dělení z hlediska životnosti (lifetime)**
  - Ostrichovo řešení (Leaking singleton)
  - životnost určená kompilátorem (Meyers singleton)
  - Fénix singleton
  - dlouhověkost (singleton with longevity)
- **Dělení z hlediska použití ve vláknech**
  - jednovláknové – bez synchronizace
  - thread safe – s platformově závislou synchronizací

Singleton – obecná implementace

- **Politiky (Policy classes)**
  - mnoho kombinací možností implementace
  - šablona s možností vlastních voleb

```
template <
   class T,
   template <class> class CreationPolicy = CreateUsingNew,
   template <class> class LifetimePolicy = DefaultLifetime,
   template <class> class ThreadingModel = SingleThreaded
> class SingletonHolder {
 ...
};
```

```
class KeyboardImpl { ... };
class LogImpl { ... };

inline unsigned int GetLongevity(KeyboardImpl*) { return 1; }
inline unsigned int GetLongevity(LogImpl*) { return 2; }

typedef SingletonHolder<KeyboardImpl, SingletonWithLongevity> Keyboard;
typedef SingletonHolder<LogImpl, SingletonWithLongevity> Log;
```

- **Alexandrescu: Modern C++ Design**
  - knihovna Loki (@SourceForge)

Singleton – implementace dědičnosti

```
#include <iostream>

template<typename T> class Base {
public:
    static T &instance() {
        static T inst;
        return inst;
    }
    virtual void echo () = 0;
protected:
    Base() {}
    virtual ~Base() {}
private:
    Base(const Base &);
    Base& operator=(const Base &);
};

class Derived: public Base<Derived> {
    friend class Base<Derived>;
public:
    void echo () { std::cout << "I'm Derived" << std::endl; }
protected:
    Derived() {}
    virtual ~Derived() {}
};

int main(int argc, char **argv) {
    Derived &derived = Derived::instance();
    derived.echo();
}
```

Dědičnost implementována pomocí šablon

Možnost šablonování metody **`instance()`**, místo třídy

Možnost vytváření abstrakních metod

Třída **`Base<Derived>`** musí být náš friend (voláni konstruktoru ze statické metody **`instance()`**).

Jednoduché použití

Singleton – související návrhové vzory

- **Možné použití**
  - zjednodušení stavu aplikace - zajištění pouze jedné instance nějakého objektu
  - řízení přístupu do DB, tiskových zdrojů…
    - omezení plýtvaní zdrojů (lze přidělit existující spojení)
    - možnost regulovat počty, frekvence… přístupů
    - přidělení spojení s vhodnými právy

- **Související NV**
  - Abstract Factory, Builder, Prototype
    - častá implementace pomocí singletonu
  - Facade
    - v případě potřeby pouze jednoho vstup do systému
  - State
    - stavové objekty jsou často `Singletony`

Singleton – shrnutí

- **Dělení z hlediska vytvoření**
  - dynamické (operátor `new`, `malloc`)
    - destruktor se nezavolá
  - statické (Meyers singleton)
    - funkce vracející referenci na statický objekt
- **Životnost (lifetime)**
  - Ostrichovo řešení (Leaking singleton)
    - resource, memory leaks
  - killer
    - obalení ukazatele třídou starající se o destrukci
  - životnost určená kompilátorem (Meyers singleton)
    - destrukce v pořadí podle LIFO
  - detekce mrtvé reference
    - při detekci zrušeného objektu výjimka
  - Fénix singleton
    - po zrušení objektu jeho znovuvytvoření
  - dlouhověkost (singleton with longevity)
    - specifikace pořadí destrukcí
- **Threading model**
  - jednovláknové
    - bez synchronizace
  - Double-checked locking
    - problémy se synchronizací – platformě závislé

pretty simple pattern ☺

Konec

- **Děkujeme za pozornost.**