

Meta sestavovací systémy

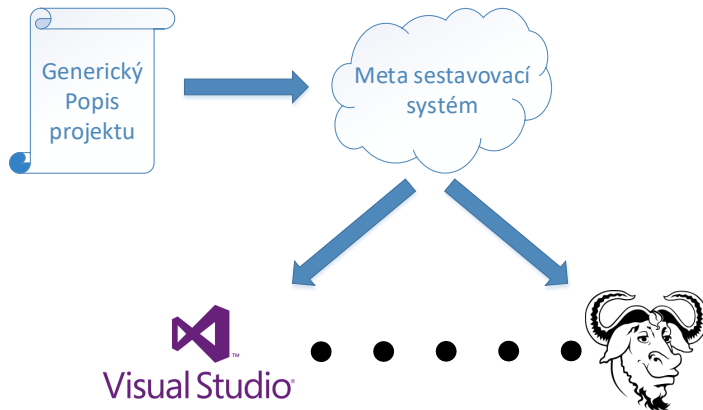
Filip Vaverka, Jan Doležal, Viktor Malík, **Petr Veigend**

Fakulta informačních technologií Vysokého učení technického v Brně,
Božetěchova 1/2, 612 66 Brno – Královo Pole
veigend@fit.vut.cz



18. března 2026

- Meta sestavovací systémy
 - CMake, QMake, Meson, GYP, Google Blueprint (Go Lang)
- Na základě univerzálního popisu generují konkrétní popis pro specifický sestavovací systém, platformu a prostředí
 - Visual Studio, Make, Ninja, ...



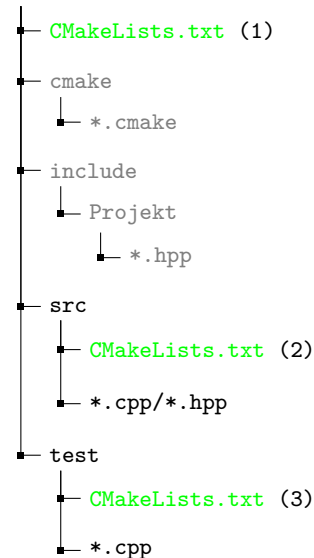
- Přenositelnost mezi platformami a prostředími
 - Systém musí být dostupný na co největším počtu platforem (např. Linux, Windows, ...)
 - Systém musí být schopen nalézt potřebné závislosti v daném prostředí (např. různé umístění knihoven)
- Podpora různých sestavovacích systémů a překladačů
 - Make, Ninja, Visual Studio, ...
 - GCC, Intel, MSVC, ...
- Snadná rozšiřitelnost a modifikovatelnost
 - pro nové prostředí a nástroje

- Primární zaměření na projekty v C/C++
- Multiplatformní s širokou podporou sestavovacích systémů
- Vyhledávání závislostí
 - Vyhledávání závislostí v systémových cestách
 - Získávání závislostí (z repozitářů, tar balíčků atd.)
- Podpora překladu mimo zdrojový kód (out of tree build)
 - umožňuje dočasné soubory udržovat mimo hlavní strom projektu
- Modulární návrh, snadná rozšiřitelnost
- Integrace nástrojů jako tar/gzip (pro Windows)
- Základní podpora pro generování kódu
- Vestavěné nástroje pro testování (CTest) a vytváření balíčků (CPack – ukázka později)

- CMakeLists.txt ve zdrojovém stromu (pozor, název je case-sensitive)
 - Reprezentuje adresář projektu
 - V kořenovém adresáři reprezentuje vstupní bod CMake
 - Obsahují specifikaci sestavení
- Soubory se skripty CMake (*.cmake)
 - Lze vykonat pomocí „> cmake -P <skript>“
 - Skripty nesmí definovat cíle a provádět akce
- Soubory modulů CMake (*.cmake)
 - Lze je vkládat do „CMakeLists.txt“ a skriptů
 - Systémové moduly obvykle v „/usr/share/cmake/Modules/“
 - Prohledávány jsou také cesty v CMAKE_PREFIX_PATH

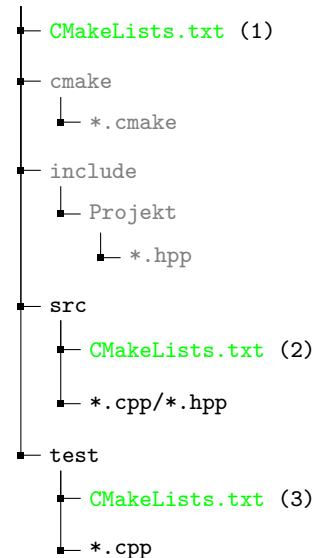
- CMakeLists.txt
 - ① Konfigurace závislostí, platformy pro celý projekt
 - ② Definuje hlavní cíle
 - ③ Konfigurace testů

Projekt



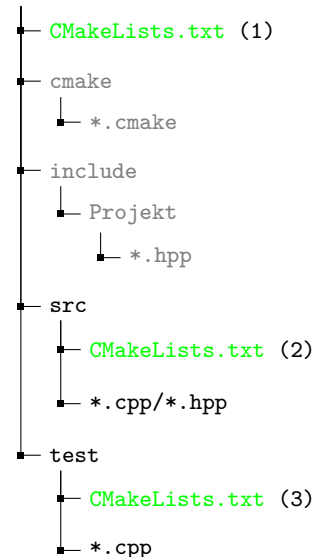
- CMakeLists.txt
 - 1 Konfigurace závislostí, platformy pro celý projekt
 - 2 Definuje hlavní cíle
 - 3 Konfigurace testů
- Adresář „cmake“ lokální moduly CMake

Projekt



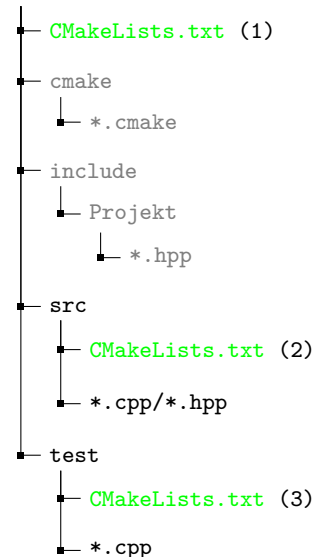
- CMakeLists.txt
 - 1 Konfigurace závislostí, platformy pro celý projekt
 - 2 Definuje hlavní cíle
 - 3 Konfigurace testů
- Adresář „cmake“ lokální moduly CMake
- Adresář „include“ je důležitý především pro knihovny

Projekt



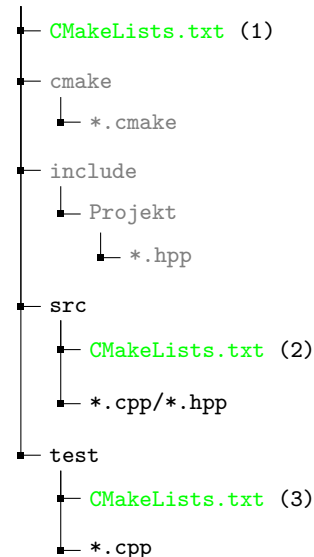
- CMakeLists.txt
 - 1 Konfigurace závislostí, platformy pro celý projekt
 - 2 Definuje hlavní cíle
 - 3 Konfigurace testů
- Adresář „cmake“ lokální moduly CMake
- Adresář „include“ je důležitý především pro knihovny
- Adresář „src“ obsahuje hlavní zdrojové soubory projektu

Projekt



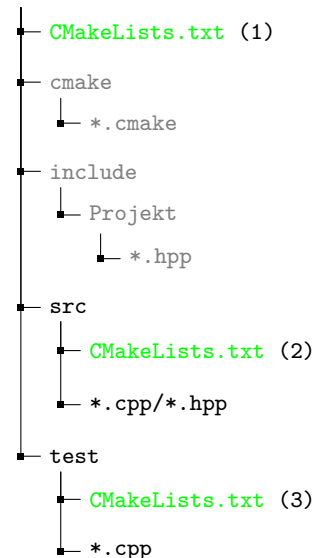
- CMakeLists.txt
 - 1 Konfigurace závislostí, platformy pro celý projekt
 - 2 Definuje hlavní cíle
 - 3 Konfigurace testů
- Adresář „cmake“ lokální moduly CMake
- Adresář „include“ je důležitý především pro knihovny
- Adresář „src“ obsahuje hlavní zdrojové soubory projektu
- Adresář „test“ obsahuje definice testů a testovací data

Projekt



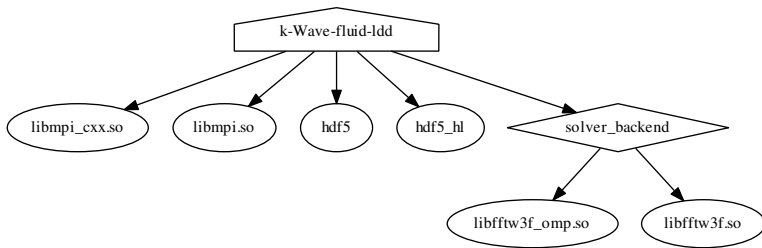
- CMakeLists.txt
 - 1 Konfigurace závislostí, platformy pro celý projekt
 - 2 Definuje hlavní cíle
 - 3 Konfigurace testů
- Chybí adresář „doc“ s cílem pro generování dokumentace

Projekt



- `cmake [parametry] <Cesta k CMakeLists.txt>`
 - Generování sestavovacího systému (s výchozím nastavením pro aktuální platformu)
`> cmake [cesta-ke-zdroji]`
 - Výběr generátoru (např. Unix Makefiles – dle platformy)
`> cmake -G <nazev-generatoru> [cesta-ke-zdroji]`
 - Definice proměnné prostředí CMake
`> cmake -D <nazev>=<hodnota> ... [cesta-ke-zdroji]`
`> cmake -DCMAKE_BUILD_TYPE=Debug`
 - Spuštění překladu vygenerovaného projektu
`> cmake --build <cesta-k-projektu> [--target <cil>]`
- Chybí „simulované vykonávání“ – pro meta systém nemá význam
`> cmake --trace [cesta-ke-zdroji]`
`> cmake --trace-source=<soubor> [cesta-ke-zdroji]`

- Ladění CMake skriptů
 - > `cmake --debug-output [cesta-ke-zdroji]`
- Log soubory:
 - CMakeFiles/CMakeOutput.log
 - CMakeFiles/CMakeError.log
- Generování grafu závislostí
 - > `cmake --graphviz=[soubor] [cesta-ke-zdroji]`



- Posloupnost příkazů oddělených odřádkováním
 - `<identifikátor>([argumenty])`
 - Argumenty mohou být oděleny pomocí mezer nebo odřádkováním
 - `add_executable(hello world.c)`
- CMake je `case-insensitive`!
- Téměř všechny programové struktury (`včetně řídících`) jsou příkazy v tomto formátu!

```
set(MY_VAR "Hello World")
```

```
function(MY_FUNC arg)
```

```
# Kód funkce
```

```
endfunction(MY_FUNC)
```

```
include(my_module)
```

```
if(NOT DEFINED Foo)
```

```
    message("Foo undefined!")
```

```
endif()
```

```
foreach(arg "Hello" "World")
```

```
    message("${arg}")
```

```
endforeach()
```

- Nastavovány pomocí `set(MY_VAR hodnota)`
- Platné v aktuálním a pod-adresářích (nebo funkcích)
- Hodnota proměnné v nadřazeném adresáři se neaktualizuje!
 - Lze změnit pomocí parametru `PARENT_SCOPE` např. `set(MY_VAR hodnota PARENT_SCOPE)`
- K proměnné lze přistupovat jako

```
message(${MY_VAR}) # Proměnná CMake
```

```
message($ENV{ENV_VAR}) # Proměnná prostředí
```

- Uživatelské dvoustavové proměnné
 - `option(MY_VAR "popis proměnné" [výchozí-hodnota])`
 - Mohou nabývat hodnot `ON` a `OFF`
 - Lze zobrazit pomocí
 - > `cmake -LAH`
 - > `cmake-gui`

- Znovupoužitelnost částí kódu je umožněna pomocí funkcí a maker
- Návrátové hodnoty funkcí řešeny úpravou rodičovských proměnných
- Makra
 - Pracují ve **stejném rámci** proměnných jako „volající“
 - Parametry pouze textovou náhradou, nejsou opravdovými proměnnými
- Funkce
 - Vytvářejí **nový rámec** – úpravy proměnných jsou pouze lokální (vyžadují použití PARENT_SCOPE)
 - Parametry jsou proměnnými

```
function(TEST arg1 ret)
# ...
set(${ret} ${arg1} PARENT_SCOPE)
endfunction(TEST)
```

```
macro(TEST_MACRO arg1 ret)
# ...
set(${ret} ${arg1})
end(TEST_MACRO)
```

- Soubor Projekt/CMakeLists.txt

```
# Minimální verze CMake
cmake_minimum_required(VERSION 3.8)
project(název-projektu) # Název projektu

# Rekurzivně prohledá adresáře projektu
# a vybere *.h/*.hpp soubory
file(GLOB_RECURSE HEADERS "*.h" "*.hpp")

set(SOURCES main.cpp) # Zdrojové soubory
add_subdirectory(src) # Kód projektu
add_subdirectory(test) # Definice testů

set(CMAKE_CXX_STANDARD 11) # --std=c++11
# Spustitelný cíl s názvem "název-projektu"
add_executable(${PROJECT_NAME}
               ${SOURCES} ${HEADERS})
target_link_libraries(${PROJECT_NAME} hdf5)
```

- Soubor Projekt/src/CMakeLists.txt

```
# Přidání zdrojových souborů do proměnné  
# nadřazeného skriptu  
set(SOURCES ${SOURCES}  
    ${CMAKE_CURRENT_SOURCE_DIR}/foo.cpp  
    ${CMAKE_CURRENT_SOURCE_DIR}/bar.cpp  
    PARENT_SCOPE)
```

- Soubor Projekt/test/CMakeLists.txt

```
# Cíl pro testování pomocí CTest  
enable_testing()  
add_test(TestA ${PROJECT_NAME})  
add_test(TestB ${PROJECT_NAME})
```

- Binární cíle
- `add_executable(<název> source1 [source2 ...])`
 - Cíl pro překlad spustitelného souboru ze zdrojových nebo objektových souborů
- `add_library(<název> source1 [source2 ...])`
- `add_library(<název> OBJECT <sources> ...)`
 - Speciální objektová knihovna
 - Lze využít v předchozích pomocí `$<TARGET_OBJECTS:název>`
`add_executable(můj-cíl $<TARGET_OBJECTS:název>)`
- Závislosti cílů
 - `target_link_libraries(<cíl> dep1 [dep2 ...])`
- Příklad

```
add_library(foo foo.cpp)
add_library(foo2 OBJECT foo2.cpp)
add_executable(bar main.cpp $<TARGET_OBJECTS:foo2>)
target_link_libraries(bar foo hdf5)
```

- Cíle pro testování
- Používané spolu s nástrojem CTest
- `add_test(NAME <název> COMMAND <příkaz> [args])`
 - Vytvoří cíl s názvem <název> pro testování
 - Pokud je <příkaz> názvem spustitelného cíle je jím nahrazen
 - Test lze spustit pomocí „ctest -R <název>“
- `set_tests_properties(<název> PROPERTIES <param>)`
 - Umožňuje nastavit parametry testu
 - `PASS_REGULAR_EXPRESSION` – výstup musí odpovídat R. V.
 - `TIMEOUT` – časový limit na provedení testu
 - `COST` – specifikuje pořadí testů
 - ...

```
add_executable(Scitani soucet.cpp)
add_test(Test Scitani 100 100)
add_tests_properties(Test PROPERTIES
    PASS_REGULAR_EXPRESSION "200")
```

- Vyhledávání knihovny na základě jejího názvu
- `find_library(<VAR> název [cesta1 cesta2 ...])`
 - Hledá knihovnu „název“ ve výchozích a specifikovaných cestách
 - Výsledek uložen v proměnné CMake „<VAR>“
 - Pokud nebyla knihovna nalezena, nastaví se proměnná <VAR>-NOTFOUND
 - Cesty k nalezeným knihovnám uloženy v CMakeCache – úspěšné hledání se neopakuje!
- Příklady:

```
find_library(FOO_LIB foo)
find_library(FOO_LIB NAMES foo1 foo2)
find_library(FOO_LIB foo PATHS moje_cesta)
find_library(FOO_LIB foo ENV FOO_DIR NO_DEFAULT_PATH)
```
- Použití knihovny:
 - `target_link_libraries(můj_cíl ${FOO_LIB})`

- Vyhledávání knihoven a nástrojů pomocí skriptů „FindXXX.cmake“
- Balíčky nastavují proměnné, přidávají cíle atd.
- `find_package(<BALÍČEK> ... [REQUIRED] ...)`
 - Hledá balíček pomocí modulu `FindBALÍČEK.cmake`
 - Modul musí být v některé z cest v `CMAKE_MODULE_PATH`
 - Proměnné a cíle, které modul nastavuje, jsou popsány v jeho dokumentaci (komentáři v *.cmake souboru)
 - Pokud není balíček nalezen, je nastavena proměnná `BALÍČEK_NOTFOUND`
- Příklady:

```
find_package(FOO)
find_package(FOO REQUIRED)
find_package(FOO NAMES foo1 foo2)
find_package(FOO 1.5 EXACT REQUIRED)
```

- Umožňuje předat hodnoty proměnných CMake do zdrojových souborů
- `configure_file(<zdroj> <cíl> [ESCAPE_QUOTES])`
 - V souboru <zdroj> nahradí výskyty `@VAR@` a `${VAR}` za hodnotu proměnné `VAR` a výsledek uloží jako <cíl>
 - Umožňuje také nahradit `#cmakedefine VAR` za `#define VAR` nebo `/* #undef VAR */`
- Použití `configure_file`
CMakeLists.txt

```
set(TEST_VAR "hodnota")  
configure_file(soubor.cpp.in soubor.cpp)
```

soubor.cpp.in

```
#cmakedefine TEST_VAR  
#define TEST_VAR "@TEST_VAR@"  
#cmakedefine TEST_VAR_2
```

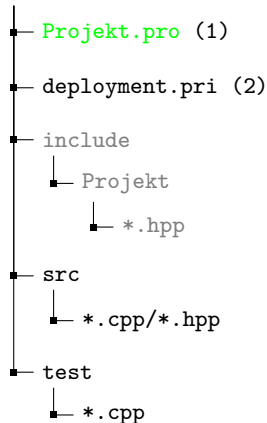
soubor.cpp

```
#define TEST_VAR  
#define TEST_VAR "hodnota"  
/* #undef TEST_VAR_2 */
```

- Projektově orientovaný meta sestavovací systém
- Multiplatformní, lze použít i pro projekt nevyužívající Qt
- Umožňuje generovat Makefile a projekty pro Visual Studio
- Zaměřený čistě na C/C++

- Popis projektu
 - 1 Centralizovaný popis projektu
 - 2 Případně doplněný o vkládané soubory
- Lze dosáhnout i adresářově orientovaného popisu (SUBDIRS)

Projekt



- Základem syntaxe je přiřazení proměnné – specifikace cíle, konfigurace, šablony, atd.

`<VAR> = <hodnota1> [hodnota2 ...] # Přiřazení`

`<VAR> -= <hodnota1> [hodnota2 ...] # Odebrání`

`<VAR> += <hodnota1> [hodnota2 ...] # Připojení`

- K proměnným lze přistupovat jako

`$$<VAR> nebo ${<VAR>} # Proměnné QMake`

`$(<ENV_VAR>) # Proměnná prostředí`

- Základní podmínky

```
win32 {  
    release {  
        # Windows - Release  
    }  
} else {  
    # Jiný OS  
}
```

```
win32:release {  
    # Windows - Release  
} else {  
    # Jiný OS  
}
```

- Soubor Projekt/Projekt.pro

```
TEMPLATE = app          # Typ projektu
CONFIG += console c++11 # Konzolová aplikace s C++11
CONFIG -= qt            # Bez Qt

TARGET = Projekt        # Hlavní cíl

INCLUDEPATH += . include/Projekt

# Hlavičkové a zdrojové soubory
HEADERS += include/Projekt/foo.h \
           include/Projekt/bar.h

SOURCES += src/main.cpp

include(deployment.pri)
```

- Soubor Projekt/deployment.pri

```
win32:release {  
    target.path = $$OUT_PWD/deployment  
    target.depends += install_helper  
  
    export(target.path)  
  
    install_helper.commands = \  
        windeployqt $$OUT_PWD/release/$$${TARGET}.exe \  
        -dir $$OUT_PWD/deployment  
  
    INSTALLS += target  
    QMAKE_EXTRA_TARGETS += install_helper  
}
```

- `qmake [režim] [parametry] <soubory>`
 - Generování popisu sestavovacího systému (Makefile)
`> qmake -o <nazev-makefile> [cesta-k-pro]`
 - Generování projektu/solution pro Visual Studio 2015
 - Parametr „-tp“ přidá prefix k `TEMPLATE` v projektu
`> qmake -spec win32-msvc2015 -tp vc [cesta-k-pro]`
 - Parametrem „-d“ lze vynutit ladící výpisy (úrovně dle počtu jeho opakování)
 - Parametry „-Wall, -Wparser, -Wlogic“ lze povolit varování QMake
`> qmake -d -Wall [cesta-k-pro]`
- Lze nastavit hodnoty proměnných
`> qmake "VAR1=VALUE1" "VAR2=VALUE2" ... [cesta-k-pro]`

- Prezentace – Filip Vaverka, Jan Doležal, Viktor Malík
- CMake
 - <https://cmake.org/cmake-tutorial/>
 - <https://cmake.org/cmake/help/latest/>
- QMake
 - <https://doc.qt.io/qt-6/qmake-manual.html>
- Ostatní
 - Ninja – <https://ninja-build.org/>
 - GYP – <https://gyp.gsrc.io/>
 - Blueprint – <https://github.com/google/blueprint>
 - Bazel – <https://bazel.build/>
 - Meson – <https://mesonbuild.com/>

Děkuji za pozornost.