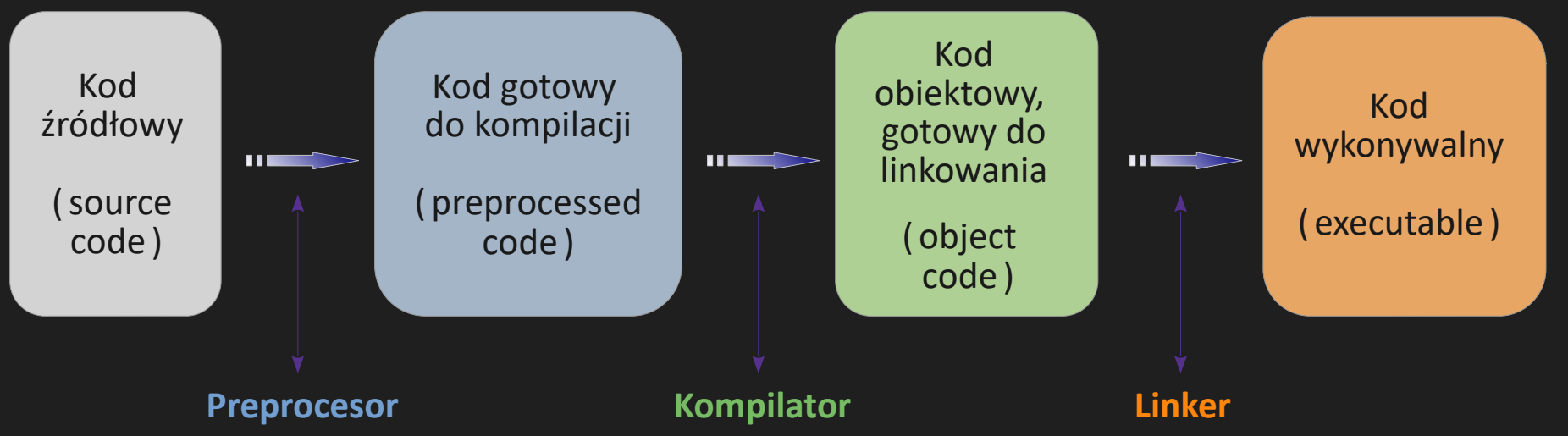
Narzędzia Wspierające Programowanie

Pliki obiektowe i linkowanie

Przypomnijmy, jak wygląda prosta droga budowania aplikacji, od kodu C/C++ do aplikacji:



- Funkcje w kodzie, skompilowane do kodu maszynowego, nazywamy obiektami.
  Jeśli podzielimy kompilację na etapy (`g++ -c kod.C`), to obiekty zostaną osadzone w pliku obiektowym (`.o`). Na powyższym schemacie kompilowany jest jeden kod.
  Ale kodów może być wiele, a funkcje wywołane w jednym pliku mogą być dostępne w innym.
  Zatem ostatnim etapem jest linkowanie, gdzie linker łączy wywołanie funkcji z jej obiektem.

- Przykład. Mamy klasę `complex` w plikach `complex.h` i `complex.C` oraz kod klienta `complex_client.C`, który wykorzystuje tę klasę. Skompilujmy wpierw klasę:

```
$ g++ -c complex.C
```

↳ Dostaliśmy `complex.o`. Jest to plik z obiektami. Czym podejrzeć jego zawartość?

```
$ nm complex.C          ←   narzędzie wypisujące listę obiektów w plikach skompilowanych
```

↳ Widzimy pewne obiekty, niektóre mają w nazwach `complex` i jej metody, ale całość tonie w "dziwnych znaczkach". To efekt tzw. dekoracji nazwy ("name mangling").

```
$ c++filt {symbol}      ←   skopiujmy jeden z symboli. c++filt wykona „demangling"
                            do formy piewotnej, gdzie widzimy prototyp funkcji w kodzie C/C++
```

```
$ nm -C complex.o       ←   nm z opcją -C automatycznie „zdemangluje" obiekty na liście.
```

↳ Widzimy też przed nazwą tzw. "typy". Skupmy się na dwóch:

- `T (t)` : oznacza, że obiekt jest w tym kodzie
- `U` : (undefined) oznacza, że symbolu w tym kodzie nie ma.
  Zwykle potrzeba zewnętrznej biblioteki (pliku z obiektami, gdzie ten obiekt jest)

(Tutaj: funkcje C++ są częścią C++ standard library i są automatycznie łączone na etapie linkera).

Linkowanie statyczne i dynamiczne

Istnieją dwa podejścia likowania kodu:

- statyczne: utworzona aplikacja będzie mieć w sobie wszystkie potrzebne obiekty.
- dynamiczne: aplikacja będzie korzystać z obiektów w osobnych plikach.
  Przy włączeniu aplikacji, dynamic linker wgra je z dysku do pamięci.

W Linuxie funkcjonuje pojęcie biblioteki (library). Ukażemy je, omawiając rodzaje linkowania.

Linkowanie statyczne

Skompilujmy klasę `complex` do pliku obiektowego `complex.o` :

```
$ g++ -c complex.C
```

Można go teraz spakować do biblioteki statycznej (static library) o rozszerzeniu `.a` :

```
$ ar -rc  libcomplex_stat.a  complex.o
```

↳ Jest to archiwum obiektów (statycznych). Działanie to nabiera szczególnie sensu,
jeśli chcemy więcej plików obiektowych połączyć w paczkę poświęconą jakiemuś zadaniu.

Aby podejrzeć zawartość, stosujemy:
Pliki obiektowe w bibliotece statycznej wypisujemy tak:

```
$ ar -t libcomplex_stat.a      ←   wypis plików obiektowych w bibliotece statycznej
$ nm -C libcomplex_stat.a      ←   lista wszystkich obiektów w tej bibliotece
```

- Mamy kod klienta `complex_client.C` i klasę `complex`, tkwiącą w bibliotece statycznej.
  Zbudujmy z tego aplikację:

```
$ g++ complex_client.C -L. -lcomplex_stat -o complex_stat.exe
```

gdzie: `-L` : ścieżka poszukiwania bibliotek, `-l____` poszuka biblioteki `lib____`

Sprawdźmy obiekty w utworzonej aplikacji:

```
$ nm -C complex_stat.exe
```

↳ obiekty klasy `complex` są w kodzie. Ale nie ma obiektów standardowych C++, czyli aplikacja
nie jest statyczna na 100%. Jeśli chcemy całkowicie ją "ustatycznić", dodajemy opcję `-static` :

```
$ g++ -static complex_client.C -L. -lcomplex_stat -o complex_fullstat.exe
```

Gdy porównamy długości tych aplikacji (`ls -ogh complex_*stat.exe`), różnica jest uderzająca.
Nic dziwnego: `nm -C` pokaże nam, że wszystkie bez wyjątku obiekty tkwią w kodzie.

⦿ Linkowanie dynamiczne

Pierwszym etapem jest utworzenie z klasy `complex` pliku "shared library" (biblioteka współdzielona), Mówi się też, że będzie zawierać obiekty dynamiczne.

```
$ g++ -fPIC complex.C -shared -o libcomplex.so
```

↳ opcja `-fPIC` (Position-Independent Code) sprawia, że adresy obiektów są względne.
Zostaną ukonkretnione przy wykonaniu aplikacji, gdy dynamic loader podłączy plik `.so` .

↳ opcja `-shared` utworzy plik typu `.so`

Narzędzie `nm -C` pokaże nam obiekty. Ale opcja `-D` pozwoli nam skupić się na tych dynamicznych:

```
$ nm -DC libcomplex.so
```

↳ obiekty z symbolem `T` – to obiekty dynamiczne w naszym kodzie. Te z symbolem U
– to obiekty dynamiczne, których nasz kod potrzebuje (liczymy, że są w innych plikach `.so`)

Zbudujmy teraz aplikację, podpinając powyższy plik `.so` :

```
$ g++ complex_client.C -L. -lcomplex -o complex_via_so.exe
```

Zajrzyjmy do obiektów (`nm -DC complex_via_so.exe`) i porównajmy długości aplikacji.

Zmieńmy na chwilę nazwę pliku `.so` i spróbujmy wykonać aplikację:

```
$ mv libcomplex.so{,.0}
$ ./complex_via_so.exe
error while loading shared library: libexample.so: cannot open shared object
file: No such file or directory
$ mv libcomplex.so{.0,}
```

↳ Widzimy, że gdy potrzebny plik `.so` zniknie, to program się nie wykona.

⦿ Podsumujmy więc główne różnice obu metod:

Linkowanie statyczne	Linkowanie dynamiczne
‣ kod jest niezależny od bibliotek	‣ kod jest krótszy, zadania ceduje na biblioteki
‣ ale jest dłuższy	‣ uzależniony od bibliotek na dysku
‣ wykonanie: wejdzie do pamięci jako całość	‣ wykonanie: kod i biblioteki wejdą do pamięci

⦿ Identyfikowanie potrzebnych bibliotek

Dzięki typowi `U` w wypisie z narzędzia `nm`, możemy identyfikować brakujące obiekty.
Ale plik z obiektami również wie, gdzie zamierza ich poszukiwać.

```
$ objdump -p complex_via_so.exe | grep NEEDED
```

↳ jak widzimy, klasy `complex` aplikacja poszuka w bibliotece `libcomplex.so`.
Zauważmy, że potrzebuje ona też biblioteki standardowej `libc.so`

Z ciekawości możemy też sprawdzić, czego potrzebują pozostałe pliki obiektowe i aplikacje:

```
$ objdump -p libcomplex.so        | grep NEEDED
$ objdump -p complex_stat.exe     | grep NEEDED
$ objdump -p complex_fullstat.exe | grep NEEDED
```

Zauważmy, że biblioteki wypisywane są bez dokładnej lokalizacji na dysku.
Z drugiej strony, podczas wgrywania aplikacji lub biblioteki do pamięci,
dynamic linker poszuka bibliotek w konkretnym miejscu. Aby dowiedzieć się gdzie, piszemy:

```
$ ldd complex.so                    ← miejsca poszukiwań wszystkich bibliotek
$ ldd complex.so | grep libcomplex  ← miejsce poszukiwania danej biblioteki
```

‣ Przesuńmy teraz naszą bibliotekę `libcomplex.so` w inne miejsce:

```
$ mkdir lib; mv libcomplex.so lib/
```

Próba włączenia `complex_via_so.exe` się nie uda. Również `ldd` pokaże, że nie widzi biblioteki:

```
$ ldd complex.so | grep libcomplex
        libcomplex.so ⇒ not found
```

Jak to naprawić? Pierwszą radą jest – zbudować aplikację na nowo, aktualizując ścieżkę dostępu do biblioteki. Ale czasem nie jest to możliwe, np. gdy nie mamy praw do kompilacji.
Linux ma zmienną środowiskową `LD_LIBRARY_PATH`. Jeśli wpiszemy tam ścieżki, to dynamic linker będzie poszukiwał bibliotek w nich. Uwaga: gdyby poszukiwane obiekty były w bibliotekach na różnych ścieżkach, to dynamic linker pobierze pierwszą pasującą, w kolejności czytania.

Ścieżkę `LD_LIBRARY_PATH` można zaktualizować chwilowo, przy wywołaniu aplikacji:

```
$ LD_LIBRARY_PATH=./lib:$LD_LIBRARY_PATH  ./complex_via_so.exe
```

Można też ustawić to w sesji, a na zupełnie trwałe – dopisać do `~/.bashrc` (`~/.bash_login`).

⊕ *Dodatek*

W środek każdej aplikacji można wstawić zmienne `RPATH` i/lub `RUNPATH`, wpisując dodatkowy katalog, na którym dynamic linker będzie poszukiwał biblioteki. W zasadzie, można to wpisać już na etapie linkowania, dodając poniższą opcję:

```
$ g++  ...  -Wl,-rpath=mypath  ...      ← wpisze aplikacji do RUNPATH ścieżkę mypath
```

↳ (ustawi RUNPATH. Aby wymusić RPATH, dodajemy `-Wl,--disable-new-dtags`)

Jednak zwykle nie tu mamy problem. Bo jeśli możemy stanie zbudować kod na nowo,
to zwykle zmianę ścieżki możemy uwzględnić opcją `-L`.
Raczej mamy już zbudowaną aplikację i nie możemy jej zrekompilować.
Istnieje narzędzie `patchelf`, służące wstawieniu (lub zmianie) zmiennej `R(UN)PATH` do aplikacji:

```
$ patchelf --set-rpath /pelna/sciezka/ complex_via_so.exe
```

↳ (w rzeczywistości, ustawi RUNPATH. Aby wymusić RPATH, dodajemy `--force-rpath`)

Sprawdźmy teraz, czy `ldd` widzi naszą ścieżkę. Następnie spróbujmy wywołać aplikację:

```
$ ldd complex_via_so.exe | grep libcomplex
$ ./complex_via_so.exe
```

Aby skasować ścieżkę `R(UN)PATH`, używamy narzędzia `patchelf`, z opcją `--remove-rpath`:

```
$ patchelf --remove-rpath complex_via_so.exe
```

⊕ *Dodatek*

Dowiedzmy się, w jakich ścieżkach systemowych `g++` domyślnie szuka bibliotek:

```
$ g++ -print-search-dirs | grep libraries
```

Z kolei, jeśli poprzez opcję `-L____` w poleceniu `g++` wskażemy dodatkowe ścieżki,
to mają one priorytet nad ścieżkami systemowymi.

Możemy też sprawdzić “na żywo”, gdzie podczas budowania aplikacji linker szukał kolejnych bibliotek. Aby to zobaczyć, trzeba linkerowi przekazać opcję `verbose`. Np. w takiej komendzie:

```
$ g++ -Wl,--verbose complex.o -o complex.exe
```