Implementacja aplikacji sieciowych z wykorzystaniem interfejsu gniazd BSD

1. Wprowadzenie

Wymagania wstępne: wykonanie ćwiczeń „Adresacja IP" oraz „Model warstwowy i architektura sieci komputerowej".

Począwszy od wersji nr 4.1 systemu UNIX BSD, wprowadzono do niego obsługę protokołów TCP/IP wraz z interfejsem dostępu dla programistów o nazwie **gniazda** (ang. *sockets*). Interfejs ten jest także dostępny w systemach Linux, a jego zadaniem jest pośredniczenie pomiędzy programami użytkowników a implementacją protokołów TCP/IP.

Do dyspozycji programistów oddano zestaw funkcji bibliotecznych, które służą do obsługi komunikacji pomiędzy procesami działającymi na różnych węzłach w sieci (możliwa jest także komunikacja pomiędzy procesami w ramach jednej maszyny), które składają się na interfejs sieci. Funkcje te „maskują" przed programistą warstwę transportową oraz wymagają utworzenia specjalnego punktu końcowego kanału komunikacji, który nazywany jest właśnie *gniazdem*. W procesie systemowym gniazdo jest traktowane jak plik specjalny (po jego utworzeniu programista uzyskuje odpowiedni deskryptor), co pozwala na realizacje funkcji odczytu i zapisu analogicznie jak na pliku (np.: `read()` i `write()`).

1.1 Przyjęty model i tryby komunikacji

Nawiązanie połączenia i rozpoczęcie komunikacji wymaga, aby jeden z procesów w niej uczestniczących, oczekiwał (nasłuchiwał) zgłoszeń; wówczas inny proces może nawiązać z nim połączenie, w dowolnym, wybranym przez siebie momencie.

Proces, który oczekuje na połączenia nazywany jest *serwerem*. Serwer może działać według dwóch schematów: (i) po odebraniu połączenia od innego procesu następuje przetwarzanie przyjętego zgłoszenia oraz (ewentualne) wysłanie wyników wykonanych operacji; dalej serwer podejmuje oczekiwanie na kolejne zgłoszenia – taki serwer nazywany jest **iteracyjnym**; (ii) odbierane połączenia od klientów obsługiwane są przez serwer „jednocześnie", np. poprzez uruchamianie procesu potomnego, który jest odpowiedzialny za dalszą obsługę i komunikację z procesem, który nawiązał połączenie; główny proces serwera może w tym czasie oczekiwać na inne zgłoszenia – taki serwer nazywany jest **współbieżnym**.

Proces, który nawiązuje połączenie z serwerem, nazywamy *klientem*; proces ten musi posiadać informacje o adresie serwera aby móc nawiązać z nim połączenie. Proces serwera uzyskuje informacje o adresie klienta dopiero po nawiązaniu przez niego komunikacji.

Interfejs gniazd obsługuje m.in. dwa tryby komunikacji pomiędzy serwerem i klientem: tryb połączeniowy – z wykorzystaniem protokołów TCP/IP, oraz tryb bezpołączeniowy – z wykorzystaniem protokołów UDP/IP.

1.2 Interfejs gniazd

Korzystanie z mechanizmu komunikacji TCP/IP wymaga utworzenia obiektu zwanego *gniazdem*, które jest traktowane przez system jak plik specjalny. Gniazdo tworzone jest przy pomocy funkcji bibliotecznej `socket()`, która w wyniku podaje deskryptor utworzonego gniazda. Oba komunikujące się procesy (klient i serwer) muszą posiadać gniazda; jedno gniazdo może służyć zarówno do odbioru jak i do wysyłania danych. Przed użyciem gniazda należy określić adres – podając adres IP oraz nr portu – dla komputera lokalnego lub dla komputera oddalonego lub dla obu komputerów jednocześnie, oraz wskazać tryb komunikacji (np. połączeniowy lub bezpołączeniowy). Na jednym komputerze można utworzyć dwa różne gniazda z takim samym nr portu (i nr IP) ale dla różnych trybów komunikacji.

2 Główne funkcje interfejsu gniazd

Aby wykorzystać omawiane poniżej funkcje, należy skorzystać z następujących plików nagłówkowych: **<sys/types.h>**, **<sys/socket.h>**, a dodatkowo aby korzystać z pozostałych funkcji – omawianych w dalszej części – należy również użyć plików: **<netinet/in.h>**, **<arpa/inet.h>**, **<netdb.h>**.

`int` **`socket`**`(int domain, int type, int protocol)` – funkcja tworzy nowe gniazdo do komunikacji sieciowej; funkcja w wyniku podaje deskryptor gniazda lub wartość -1 w przypadku błędu. Pierwszy argument funkcji określa domenę komunikacyjna (ang. *communictaion domain*) i służy do wyboru rodziny protokołów: mi.in. **PF_UNIX** (lub **PF_LOCAL**) – protokoły wewnętrzne systemu, **PF_INET** – protokoły internetowe (TCP/IP) w wersji nr 4. Drugi argument określa tryb komunikacji: m.in. **SOCK_STREAM** – gniazdo strumieniowe, **SOCK_DGRAM** – gniazdo datagramowe, **SOCK_RAW** – gniazdo surowe (ang. *raw*). Trzeci parametr specyfikuje protokół, jeśli w danej domenie komunikacyjnej i w wybranym trybie komunikacji dostępnych jest kilka protokołów – najczęściej parametr ten przyjmuje wartość 0.

`int` **`bind`**`(int sockfd, struct sockaddr *my_addr, socklen_t addrlen)` – funkcja ta pozwala na związanie wcześniej utworzonego gniazda z adresem lokalnej maszyny i jest używana głównie przez serwery. Poprawnie wykonana funkcja podaje wartość 0, a błąd jest oznaczany wartością -1. Pierwszy parametr funkcji to deskryptor gniazda, drugi parametr to adres lokalnej maszyny (odpowiednia struktura została opisana poniżej), a trzeci parametr powinien zawierać rozmiar struktury adresu (drugiego argumentu).

`int` **`listen`**`(int sockfd, int backlog)` – funkcja pozwala na przygotowanie utworzonego już gniazda do odbierania zgłoszeń oraz umożliwia określenie rozmiaru kolejki żądań, oczekujących na wykonanie funkcji **`accept()`**. Wynikiem poprawnie wykonane funkcji jest wartość 0, błąd jest oznaczany wartością -1. Pierwszym parametrem funkcji jest deskryptor gniazda, a drugim rozmiar kolejki docierających żądań połączeń.

`int` **`accept`**`(int sockfd, struct sockaddr *addr, socklen_t *addrlen)` – funkcja służy do pobrania zgłoszenia z kolejki lub oczekiwania na takie zgłoszenie (funkcja działa w sposób blokujący) i obsługuje tylko gniazda strumieniowe. W wyniku działania funkcji otrzymujemy nowy deskryptor gniazda, a w przypadku błędu otrzymujemy wartość -1. Parametrami tej funkcji są kolejno: deskryptor gniazda, wskaźnik na strukturę adresową (opisaną poniżej), która zostanie wypełniona danymi – adres i numer portu – maszyny, która nawiązała połączenie, wskaźnik na zmienną całkowitą, która będzie zawierała rozmiar struktury adresowej.

`int` **`connect`**`(int sockfd, const struct sockaddr *serv_addr, socklen_t addrlen)` – funkcja umożliwia związanie wcześniej utworzonego gniazda z adresem odległego punktu końcowego; wynikiem poprawnego działania funkcji jest wartość 0, błąd jest oznaczany wartością -1. Jeśli gniazdo zostało utworzone w trybie połączeniowym, to funkcja ta nawiązuje połączenie z serwerem, jeśli natomiast gniazdo zostało utworzone w trybie bezpołączeniowym, to funkcja ta jedynie przypisuje gniazdu adres maszyny zdalnej. Pierwszym parametrem funkcji jest deskryptor gniazda, drugi parametr to adres maszyny odległej (odpowiednia struktura została opisana poniżej), a trzeci parametr powinien zawierać rozmiar struktury adresu (drugiego argumentu).

`int close(int fd)` – funkcja zamyka gniazdo i usuwa jego deskryptor; poprawnie wykonana funkcja przekazuje wartość 0, a błąd jest oznaczany wartością -1. Jako parametr należy podać deskryptor zamykanego gniazda.

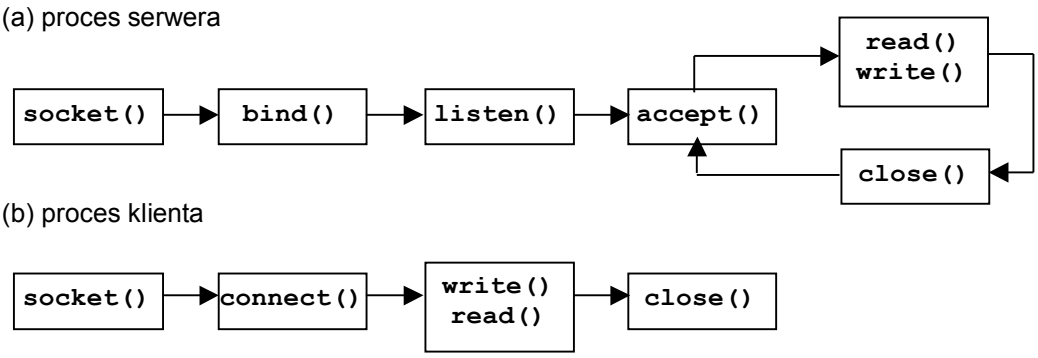
Do odbierania i wysyłania danych należy używać funkcji **`read()`** oraz **`write()`** – posługując się deskryptorem gniazda. W przypadku komunikacji bezpołączeniowej należy używać funkcji **`recv()`**/**`recvfrom()`** oraz **`send()`**/**`sendto()`**, które pozwalają na określanie parametrów przesyłania komunikatu, a ponadto funkcja **`sendto()`** pozwala na podanie adresata komunikatu.

Poniżej przedstawiono struktury używane przez funkcje interfejsu gniazd (uwaga: w domenie protokołów internetowych używamy zamiast struktury **`sockaddr`** strukturę **`sockaddr_in`**, wykonując przy przekazywaniu wskaźnika rzutowanie na strukturę **`(struct sockaddr*)`**):

```
struct sockaddr_in
{
   u_short sin_family;         // PF_INET
   u_short sin_port;           // numer portu
   struct in_addr sin_addr;    // adres węzła
   char sin_zero[8];           // nie używane
}

struct in_addr
{
   u_long s_addr;              // 32-bitowy adres
}
```

Rysunek nr 1 przedstawia kolejność wywołań kolejnych funkcji interfejsu gniazd dla obu stron: klienta i serwera.



Rysunek nr 1. Przykładowa kolejność wywołań funkcji interfejsu gniazd dla procesów (a) serwera, (b) klienta.

2.1 Funkcje pomocnicze

Dla protokołów TCP/IP przyjęto standard określający **sieciowy porządek bajtów**, zgodnie z którym kolejność bajtów reprezentujących liczbę następuje od najbardziej do najmniej znaczącego. Niektóre parametry funkcji interfejsu gniazd należy podawać zgodnie z tym właśnie porządkiem, np. numer portu w strukturze **`sockaddr_in`**. Dostępne są zatem funkcje, które umożliwiają konwersje z porządku systemu operacyjnego danego komputera do

porządku sieciowego i odwrotnie (istnieją dwa zestawy tych funkcji: dla liczb 16-bitowych oraz dla liczb 32-bitowych).

`uint32_t` **`htonl`**`(uint32_t hostlong)` – funkcja konwersji z reprezentacji lokalnej do sieciowej dla liczb 32-bitowych.

`uint16_t` **`htons`**`(uint16_t hostshort)` – funkcja konwersji z reprezentacji lokalnej do sieciowej dla liczb 16-bitowych.

`uint32_t` **`ntohl`**`(uint32_t netlong)` – funkcja konwersji z reprezentacji sieciowej do lokalnej dla liczb 32-bitowych.

`uint16_t` **`ntohs`**`(uint16_t netshort)` – funkcja konwersji z reprezentacji sieciowej do lokalnej dla liczb 16-bitowych.

`in_addr_t` **`inet_addr`**`(const char *cp)` – funkcja zamienia adres zapisany w postaci `XX.XX.XX.XX` na jego reprezentację sieciową.

Pozostałe funkcje, operujące na adresach i nazwach, które są użyteczne dla aplikacji sieciowych:

`struct hostent *`**`gethostbyaddr`**`(const char *addr, int len, int type)` – funkcja w wyniku przekazuje informację na temat komputera o znanym adresie IP.

`struct hostent *`**`gethostbyname`**`(const char *name)` – funkcja pozwala na odwzorowanie nazwy domenowej komputera na jego adres IP.

`int` **`getpeername`**`(int sockfd, struct sockaddr *name, socklen_t *namelen)` – funkcja w wyniku przekazuje adres zdalnego komputera, z którym jest połączone wskazane gniazdo. Funkcja ta może być użyta przez serwer do rozpoznania adresu klienta, który nawiązał komunikację.

3 Interfejs gniazd w systemach Windows

Interfejs gniazd dostępny jest także dla systemów operacyjnych Windows – nosi on nazwę *Windows Sockets* lub inaczej *WinSock*. Interfejs ten udostępnia dwie grupy poleceń: pierwsza obejmuje funkcje niemal całkowicie zgodne z przedstawionymi powyżej funkcjami interfejsu gniazd BSD, a druga obejmuje funkcje, które są specyficzne dla systemów Windows – posiadają one przedrostek **`WSA*`** oraz wspierają stosowany w tych systemach operacyjnych model zdarzeniowy. Definicje funkcji interfejsu ujęte są w pliku nagłówkowym **`winsock2.h`** (dla wersji 2.x) lub **`winsock.h`** (dla wersji wcześniejszych). Oto podstawowe różnice dotyczące funkcji z pierwszej grupy w porównaniu do przedstawionych funkcji interfejsu gniazd BSD:

- przed rozpoczęciem pracy na gniazdach należy zainicjować bibliotekę *WinSock* funkcją **`WSAStartup`** – funkcja ta przyjmuje dwa argumenty wywołania: po pierwsze należy wskazać minimalną wymaganą wersję biblioteki oraz jako drugi argument należy przekazać strukturę o nazwie **`WSADATA`**; postać tej struktury jest następująca:

```
typedef struct WSAData
{
   WORD wVersion;
   //oczekiwany nr wersji biblioteki
   WORD wHighVersion;
```

```
    //najwyższy akceptowany nr wersji biblioteki
    char szDescription[WSADESCRIPTION_LEN+1];
    //opis implementacji
    char szSystemStatus[WSASYS_STATUS_LEN+1];
    //informacje konfiguracyjne
    unsigned short iMaxSockets;
    //pole zachowane dla zgodności z poprzednimi wersjami
    unsigned short iMaxUdpDg;
    // pole zachowane dla zgodności z poprzednimi wersjami
    char FAR* lpVendorInfo;
    pole zachowane dla zgodności z poprzednimi wersjami
} WSADATA, *LPWSADATA;
```

- zakończenie pracy z biblioteką wymaga wywołania bezargumentowej funkcji o nazwie **`WSACleanup`**;
- część funkcji w wyniku przekazuje wartości innych typów, np. funkcje **`socket`** oraz **`accept`** w wyniku przekazują wartości typu **`SOCKET`**;
- zamknięcie gniazda realizowane jest przez funkcję **`closesocket`** – argumentem jej wywołania jest deskryptor otwartego gniazda (typu **`SOCKET`**);
- odczyt i zapis z gniazda realizowany jest funkcjami **`recv()`**/**`recvfrom()`** oraz **`send()`**/**`sendto()`**.

4 Organizacja, wymagany sprzęt, oprogramowanie

- Zadanie wykonywane jest przez parę studentów;
- sprzęt: 2 komputery;
- oprogramowanie: kompilator *cc* (lub *gcc*).

5 Zadania

1. Na jednym z komputerów należy uruchomić serwer *daytime*; zadanie polega na napisaniu programu sieciowego – klienta – który uruchomiony na drugim komputerze odczyta informacje z uruchomionego serwera. Należy użyć trybu połączeniowego.
2. Napisać dwa programy: klienta i serwera; program klient przesyła do serwera ciąg znaków, na który składa się nr indeksu studenta, na co program serwera odpowiada ciągiem znaków, będącym nazwiskiem studenta o wskazanym numerze indeksu. Program należy napisać w dwóch wersjach: połączeniowej i bezpołączeniowej.
3. Wzbogacić powyżej opisane programy o obsługę nazw domenowych.

6 Pytania sprawdzające

1. Wyjaśnić różnice pomiędzy serwerami: bezpołączeniowym-iteracyjnym, bezpołączeniowym-współbieżnym, połączeniowym-iteracyjnym i połączeniowym-współbieżnym.
2. W jakich sytuacjach może dojść do zakleszczenia (ang. *deadlock*) serwera?
3. Do czego można użyć funkcji **`connect()`**, w trybie bezpołączeniowym?
4. Jakie może mieć zastosowanie drugi deskryptor gniazda uzyskany funkcją **`accept()`**?
5. Jakie może być zastosowanie funkcji systemowej **`select()`** w implementacji serwera sieciowego?

7 Literatura

1. Comer D.E, Stevens D.L.: *Sieci komputerowe TCP/IP. Programowanie w trybie klient-serwer. Wersja BSD.* (Tom III), Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997.
2. A.S. Tanenbaum: *Computer Networks,* Prentice Hall PTR, 2003.
3. M. Gabassi, B. Dupouy: *Przetwarzanie rozproszone w systemie UNIX*, LUPUS, 1995.

4. **Internet**: BSD Sockets Interface Programmer's Guide -- http://docs.hp.com/en/B2355-90136/index.html
5. **Internet**: Windows Sockets -- http://www.sockets.com/winsock.htm