*Kompendium wiedzy o wskaźnikach w języku C!*

# Wskaźniki w języku C

*Przewodnik*

O'REILLY®

*Richard Reese*

Tytuł oryginału: Understanding and Using C Pointers

Tłumaczenie: Konrad Matuk

ISBN: 978-83-246-8289-8

© 2014 Helion S.A.

Authorized Polish translation of the English edition of Understanding and Using C Pointers
ISBN 9781449344184 © 2013 Richard Reese, Ph.D.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
WWW: http://helion.pl (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
http://helion.pl/user/opinie/wskazc
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- Kup książkę
- Poleć książkę
- Oceń książkę

- Księgarnia internetowa
- Lubię to! » Nasza społeczność

# Spis treści

**Przedmowa** .......... **9**

**1. Wstęp** .......... **15**
Wskaźniki i pamięć 16
Dlaczego warto opanować wskaźniki 17
Deklarowanie wskaźników 20
Interpretowanie deklaracji 22
Operator adresu 23
Wyświetlanie wartości wskaźników 24
Wyłuskiwanie wskaźnika za pomocą operatora adresowania pośredniego 26
Wskaźniki na funkcje 27
Pojęcie wartości null 27
Rodzaje wskaźników i ich rozmiary 32
Modele pamięci 32
Predefiniowane typy związane ze wskaźnikami 33
Operatory wskaźników 37
Arytmetyka wskaźnikowa 37
Porównywanie wskaźników 42
Zastosowania wskaźników 42
Wielopoziomowe adresowanie pośrednie 43
Stałe i wskaźniki 44
Podsumowanie 50

**2. C i dynamiczne zarządzanie pamięcią** .......... **51**
Dynamiczna alokacja pamięci 52
Wycieki pamięci 55
Funkcje dynamicznego alokowania pamięci 57
Stosowanie funkcji malloc 58
Stosowanie funkcji calloc 62



Kup ksi k  Pole ksi k

Stosowanie funkcji realloc 63
Funkcja alloca i tablice o zmiennej długości 66
Dealokacja pamięci przy użyciu funkcji free 66
Przypisywanie wartości NULL do zwalnianego wskaźnika 68
Podwójne uwalnianie 68
Sterta i pamięć systemowa 70
Zwalnianie pamięci po zakończeniu działania programu 70
Wiszące wskaźniki 71
Przykłady wiszących wskaźników 71
Rozwiązywanie problemu wiszących wskaźników 74
Stosowanie wersji testowej do wykrywania wycieków pamięci 74
Techniki dynamicznej alokacji pamięci 75
Sprzątanie pamięci w języku C 76
Inicjowanie przy pozyskaniu zasobu (RAII) 76
Korzystanie z procedury obsługi wyjątków 77
Podsumowanie 78

**3. Wskaźniki i funkcje ........................................ 79**
Sterta i stos programu 80
Stos programu 80
Organizacja ramki stosu 81
Przekazywanie i zwracanie za pomocą wskaźnika 84
Stosowanie wskaźników do przekazywania danych 84
Przekazywanie danych poprzez wartość 85
Przekazywanie wskaźnika do stałej 86
Zwracanie wskaźnika 87
Wskaźniki do danych lokalnych 89
Przekazywanie pustych wskaźników 91
Przekazywanie wskaźnika do wskaźnika 91
Wskaźniki na funkcję 95
Deklarowanie wskaźników na funkcję 96
Stosowanie wskaźników na funkcję 97
Przekazywanie wskaźników na funkcję 99
Zwracanie wskaźników na funkcję 99
Stosowanie tablic wskaźników na funkcję 100
Porównywanie wskaźników na funkcję 101
Rzutowanie wskaźników na funkcję 102
Podsumowanie 103



Kup ksi k    Pole ksi k

**4. Wskaźniki i tablice ........................................................ 105**
Tablice 106
Tablice jednowymiarowe 107
Tablice dwuwymiarowe 108
Tablice wielowymiarowe 109
Notacja wskaźnikowa i tablice 109
Różnice pomiędzy tablicami a wskaźnikami 112
Stosowanie funkcji malloc do tworzenia tablic jednowymiarowych 113
Stosowanie funkcji realloc do zmiany rozmiaru tablicy 114
Przekazywanie tablicy jednowymiarowej 118
Stosowanie notacji tablicowej 118
Stosowanie notacji wskaźnikowej 119
Stosowanie jednowymiarowych tablic wskaźników 120
Wskaźniki i tablice wielowymiarowe 122
Przekazywanie tablicy wielowymiarowej 125
Dynamiczna alokacja tablicy dwuwymiarowej 128
Alokowanie pamięci o potencjalnie nieciągłym obszarze 129
Alokacja pamięci o ciągłym obszarze 129
Tablice postrzępione i wskaźniki 131
Podsumowanie 135

**5. Wskaźniki i łańcuchy ........................................................ 137**
Podstawowe wiadomości na temat wskaźników 138
Deklaracja łańcucha 139
Pula literałów łańcuchowych 139
Inicjalizacja łańcucha 141
Standardowe operacje wykonywane na łańcuchach 145
Porównywanie łańcuchów 145
Kopiowanie łańcuchów 147
Łączenie łańcuchów 149
Przekazywanie łańcuchów 153
Przekazywanie prostego łańcucha 153
Przekazywanie wskaźnika na stałą typu char 155
Przekazywanie wskaźnika wymagającego inicjalizacji 155
Przekazywanie argumentów do aplikacji 157



Kup ksi k Pole ksi k

Zwracanie łańcuchów 158
Zwracanie adresu literału 158
Zwracanie adresu pamięci adresowanej dynamicznie 160
Wskaźniki na funkcje i łańcuchy 162
Podsumowanie 165

**6. Wskaźniki i struktury ........................................................ 167**
Wstęp 168
Alokacja struktury w pamięci 169
Zagadnienia związane z dealokacją struktury 170
Unikanie narzutu wynikającego ze stosowania funkcji malloc i free 174
Stosowanie wskaźników do obsługi struktur danych 176
Jednostronna lista powiązana 177
Stosowanie wskaźników do obsługi kolejek 185
Stosowanie wskaźników do obsługi stosu 188
Stosowanie wskaźników do obsługi drzewa 190
Podsumowanie 194

**7. Problemy z zabezpieczeniami i niewłaściwe stosowanie wskaźników ........................ 195**
Deklaracja i inicjalizacja wskaźników 197
Niewłaściwa deklaracja wskaźnika 197
Niepowodzenie inicjalizacji wskaźnika przed użyciem 198
Rozwiązywanie problemów z niezainicjalizowanymi wskaźnikami 198
Problemy wynikające ze stosowania wskaźników 199
Wykrywanie wartości zerowej 200
Niewłaściwe stosowanie operatora wyłuskiwania 201
Wiszące wskaźniki 201
Uzyskiwanie dostępu do pamięci znajdującej się poza granicami tablicy 202
Błędne obliczenie rozmiaru tablicy 203
Niewłaściwe stosowanie operatora sizeof 203
Zawsze dopasowuj do siebie typy wskaźników 204
Wskaźniki ograniczone 205
Problemy z zabezpieczeniami związane z łańcuchami 206
Arytmetyka wskaźnikowa i struktury 207
Problemy związane ze wskaźnikami na funkcję 209



Kup ksi k Pole ksi k

Problemy związane z dealokacją pamięci 211
Dublowanie funkcji free 211
Czyszczenie danych wrażliwych 211
Stosowanie narzędzi analizy statycznej 212
Podsumowanie 213

**8. Pozostałe techniki ........................................................ 215**
Rzutowanie wskaźników 216
Uzyskiwanie dostępu do adresu specjalnego przeznaczenia 217
Uzyskiwanie dostępu do portu 219
Uzyskiwanie dostępu do pamięci przy użyciu DMA 220
Określanie porządku bajtów danej maszyny 220
Aliasing wskaźników i słowo kluczowe restrict 221
Stosowanie unii do reprezentacji wartości na różne sposoby 223
Strict aliasing 225
Stosowanie słowa kluczowego restrict 226
Wątki i wskaźniki 227
Współdzielenie wskaźników przez wątki 228
Stosowanie wskaźników
na funkcję do obsługi wywołań zwrotnych 231
Techniki obiektowe 233
Tworzenie i stosowanie wskaźników nieprzeźroczystych 233
Polimorfizm w języku C 237
Podsumowanie 242

**Skorowidz ........................................................ 243**





Kup ksi k Pole ksi k

Kup książkę Poleć książkę

ROZDZIAŁ 1.

# Wstęp

Dobre opanowanie wskaźników i umiejętność ich efektywnego stosowania odróżniają zaawansowanego programistę od nowicjusza. Wskaźniki są ważnym elementem języka C, zapewniającym mu elastyczność. Umożliwiają obsługę dynamicznej alokacji pamięci. Ich zapis jest związany z zapisem tablic. Wskaźniki na funkcję dają ogromne możliwości kontroli wykonywania programu.

Wskaźniki od dawna są główną przeszkodą w nauce języka C. W założeniu wskaźnik jest zmienną przechowującą adres pamięci. Ten prosty element zaczyna wydawać się skomplikowany, gdy zaczynamy stosować operatory wskaźników lub gdy próbujemy zrozumieć ich skomplikowaną notację. Takie problemy nie muszą grozić każdemu. Jeżeli dobrze opanujesz proste podstawy wskaźników, wtedy ich zaawansowane zastosowania wcale nie są trudne do opanowania.

Kluczem do opanowania wskaźników jest zrozumienie tego, jak program napisany w języku C zarządza pamięcią — wskaźniki zawierają adresy komórek pamięci. Jeżeli nie zrozumiesz tego, jak zorganizowana jest pamięć, trudno będzie Ci pojąć, jak działają wskaźniki. W celu ułatwienia nauki książka zawiera rysunki ilustrujące organizację pamięci. Umieszczono je wszędzie tam, gdzie mogą okazać się pomocne w wyjaśnianiu działania wskaźników. Gdy już zrozumiesz organizację pamięci, zgłębianie zagadnień związanych ze wskaźnikami stanie się o wiele łatwiejsze.

Poniższy rozdział zawiera wstępne informacje na temat wskaźników, ich operatorów oraz tego, jak wskaźniki oddziałują na pamięć. Pierwsza część rozdziału opisuje deklaracje wskaźników, podstawowe operatory wskaźników, a także pojęcie wartości typu `null`. Istnieje wiele rodzajów wartości typu `null` obsługiwanych przez język C. Dokładne przeanalizowanie tego zagadnienia może okazać się przydatne.



Kup ksi k Pole ksi k

Drugi podrozdział opisuje różnorakie modele pamięci, które z pewnością napotkasz, pracując w języku C. Model stosowany przez dany kompilator lub system operacyjny wpływa na działanie wskaźników. Ponadto w tym podrozdziale spotkasz się z analizą różnych predefiniowanych typów związanych ze wskaźnikami i modelami pamięci.

W kolejnym podrozdziale opisano bardziej szczegółowo operatory wskaźników. Dowiesz się wielu przydatnych rzeczy na temat arytmetyki wskaźników oraz ich porównywania. Ostatni podrozdział opisuje problematykę związaną ze stałymi i wskaźnikami. Liczne kombinacje deklaracji oferują wiele interesujących, a zarazem przydatnych możliwości.

Niezależnie od tego, czy jesteś początkującym, czy zaawansowanym programistą języka C, niniejsza książka pomoże Ci zrozumieć wskaźniki i wypełnić braki w wiedzy. Zaawansowany programista może czytać tę publikację selektywnie, wybierając tylko te tematy, które go interesują. Początkujący programista powinien ostrożnie zapoznać się z całością książki.

## Wskaźniki i pamięć

Program napisany w języku C po skompilowaniu wykorzystuje trzy rodzaje pamięci:

**Statyczna/globalna**
W tym rodzaju pamięci alokowane są zmienne deklarowane statycznie. Zmienne globalne także korzystają z tej pamięci. Są one alokowane w pamięci od chwili rozpoczęcia działania programu aż do jego zamknięcia. Wszystkie funkcje mają dostęp do zmiennych globalnych. Zasięg zmiennych statycznych jest ograniczony do funkcji, w której zostały one zdefiniowane.

**Automatyczna**
Zmienne te są deklarowane wewnątrz funkcji, a więc są tworzone w chwili wywołania funkcji. Ich zasięg jest ograniczony do funkcji. Okres istnienia tych zmiennych jest ograniczony do czasu wykonywania funkcji.

**Dynamiczna**
Pamięć jest alokowana na stercie i może zostać zwolniona, gdy będzie to konieczne. Wskaźnik odnosi się do alokowanej pamięci. Zasięg zmiennych jest ograniczony przez wskaźniki odnoszące się do tej pamięci. Pamięć ta istnieje do momentu jej zwolnienia. Problematyka ta została szerzej opisana w rozdziale 2.



Kup ksi k Pole ksi k

Tabela 1.1 podsumowuje wiadomości dotyczące zasięgu i okresu istnienia zmiennych stosowanych w poszczególnych obszarach pamięci.

*Tabela 1.1. Zasięg i okres istnienia*

| | Zasięg | Okres istnienia |
|---|---|---|
| Globalna | cały plik | cały okres działania aplikacji |
| Statyczna | funkcja, w której została zadeklarowana | cały okres działania aplikacji |
| Automatyczna (lokalna) | funkcja, w której została zadeklarowana | czas wykonywania funkcji |
| Dynamiczna | określony przez wskaźniki odnoszące się do tej pamięci | do momentu zwolnienia pamięci |

Bliższe zapoznanie się z tymi rodzajami pamięci pozwoli Ci na lepsze zrozumienie funkcjonowania wskaźników. W większości przypadków wskaźniki są stosowane do wykonywania operacji na danych przechowywanych w pamięci. Zinterpretowanie tego, jak pamięć jest partycjonowana i organizowana, pomoże w wyjaśnieniu działań wykonywanych na pamięci przez wskaźniki.

Zmienna będąca wskaźnikiem zawiera adres pamięci, pod którym znajduje się inna zmienna, obiekt lub funkcja. Obiekt jest alokowany w pamięci za pomocą funkcji alokującej, takiej jak np. funkcja `malloc`. Zwykle deklaruje się typ wskaźnika, który zależy od tego, na co dany wskaźnik wskazuje. Np. możemy zadeklarować wskaźnik na obiekt typu `char`. Obiektem może być liczba całkowita, znak, łańcuch, struktura lub dowolny inny typ danych spotykany w języku C. Wskaźnik nie zawiera niczego, co by informowało o tym, na jaki typ danych wskazuje. Wskaźnik zawiera tylko adres danych.

## Dlaczego warto opanować wskaźniki

Wskaźniki można stosować do:

- tworzenia szybkiego i wydajnego kodu,
- rozwiązywania w prosty sposób różnego typu problemów,
- obsługi dynamicznej alokacji pamięci,
- tworzenia zwięzłych wyrażeń,
- przekazywania struktur danych bez ponoszenia kosztów w postaci narzutu,
- ochrony danych przekazywanych do funkcji jako parametry.



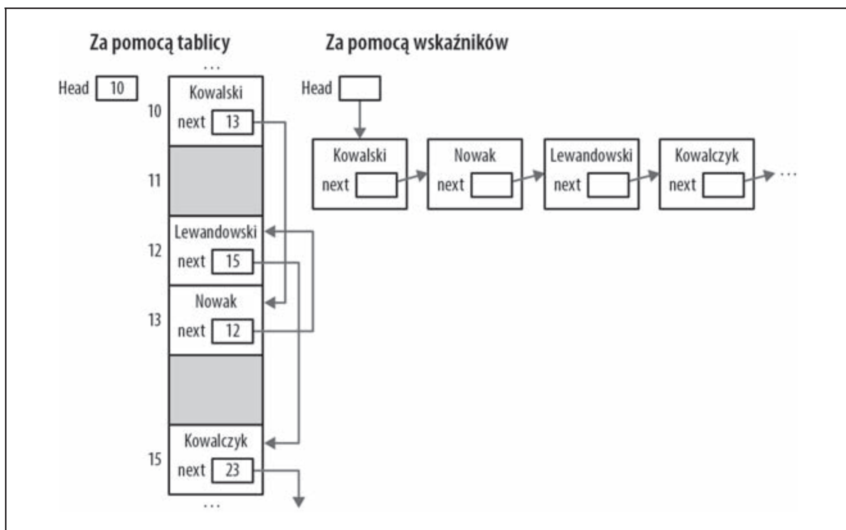
Kup ksi k

Pole ksi k

Logika działania wskaźników jest bliska zasadzie funkcjonowania komputera, a więc możliwe jest dzięki nim tworzenie szybszego i bardziej wydajnego kodu. To znaczy, że kompilator jest w stanie sprawniej przełożyć operacje na kod maszynowy. Korzystając ze wskaźników, tworzymy mniej narzutu niż w przypadku korzystania z innych operatorów.

Przy użyciu wskaźników możliwa jest o wiele łatwiejsza implementacja wielu struktur danych. Np. lista powiązana może być obsługiwana za pomocą zarówno tablic, jak i wskaźników, ale stosując wskaźniki, można łatwiej odwoływać się bezpośrednio do następnego lub wcześniejszego powiązania. Wykonanie tej samej operacji przy użyciu tablic wymaga korzystania z indeksów tablic, co nie jest tak intuicyjne i wygodne jak stosowanie wskaźników.

Rysunek 1.1 obrazuje korzystanie z listy powiązanych elementów (listy pracowników) przy użyciu wskaźników i tablic. Z lewej strony rysunku pokazano operacje przeprowadzane za pomocą tablicy. Zmienna `head` (z ang. głowa) informuje o tym, że pierwszy element listy znajduje się pod indeksem tablicy o numerze 10. Każdy element tablicy zawiera strukturę reprezentującą danego pracownika. Pole *next* (z ang. następny), będące elementem struktury, przechowuje indeks, pod którym znajduje się tablica zawierająca dane następnego pracownika. Elementy zacieniowane symbolizują niewykorzystane elementy tablicy.




*Rysunek 1.1. Porównanie reprezentacji listy powiązanej za pomocą tablicy i wskaźników*



Kup ksi k Pole ksi k

Prawa strona rysunku przedstawia tę samą operację przeprowadzaną przy użyciu wskaźników. Zmienna `head` przechowuje wskaźnik do węzła zawierającego dane pierwszego pracownika. Każdy węzeł przechowuje dane pracownika, a także wskaźnik do następnego węzła powiązanego z listą.

Reprezentacja wykonana za pomocą wskaźników jest nie tylko bardziej czytelna, ale także bardziej elastyczna. Zwykle przed stworzeniem tablicy musimy określić jej rozmiar, co narzuca nam ograniczenie liczby elementów przechowywanych przez tablicę. Reprezentacja wykonana przy użyciu wskaźników nie narzuca takiego ograniczenia. W razie potrzeby nowy węzeł można dynamicznie alokować.

Wskaźniki w języku C są stosowane do obsługi dynamicznej alokacji pamięci. Funkcja `malloc` jest stosowana do dynamicznego alokowania pamięci, a funkcja `free` jest używana do jej zwalniania. Dynamiczna alokacja pamięci pozwala na tworzenie struktur danych i tablic o zmiennym rozmiarze. Takie struktury to np. listy powiązane i kolejki. Jedynie nowszy standard języka C — C11 — obsługuje tablice o zmiennym rozmiarze.

Zwarte wyrażenia mogą zawierać wiele informacji, ale jednocześnie mogą być trudne do odczytania. Z tego powodu zapis wskaźników nie jest zrozumiały dla wielu programistów. Zwarty zapis powinien odpowiadać na konkretne potrzeby. Nie powinien być niepotrzebnie zagmatwany. W poniższej przykładowej sekwencji kodu trzeci znak drugiego elementu `names` (litera „w") jest wyświetlany za pomocą dwóch różnych funkcji `printf`. Na razie takie zastosowanie wskaźników może wydawać się niejasne, jednakże zostanie ono wytłumaczone w podrozdziale „Wyłuskiwanie wskaźnika za pomocą operatora adresowania pośredniego". Obie funkcje `printf` dają ten sam rezultat — wyświetlają literę `w`. Prostszym działaniem wydaje się jednak stosowanie notacji tablicowej.

```
char *names[] = {"Kowalski","Nowak","Kowalczyk"};
printf("%c\n",*(*(names+1)+2));
printf("%c\n",names[1][2]);
```

Wskaźniki są potężnym narzędziem służącym do tworzenia aplikacji oraz usprawniania ich działania. Jednakże korzystając ze wskaźników, możemy natrafić na liczne problemy, takie jak:

- próby uzyskania dostępu do danych znajdujących się poza granicami struktury (może mieć to miejsce w przypadku odczytu danych z tablicy);
- odwoływanie się do zmiennych automatycznych, gdy te zmienne już nie istnieją;



Kup ksi k Pole ksi k

- odwoływanie się do pamięci alokowanej na stercie, gdy ta już została wcześniej zwolniona;
- wyłuskiwanie wskaźnika przed alokowaniem go w pamięci.

Szczegółowe omówienie tych problemów znajdziesz w rozdziale 7.

Składnia i semantyka wskaźników są jasno określone w specyfikacji języka C (*http://bit.ly/173cDxJ*). Pomimo tego można napotkać sytuacje, w których specyfikacja dokładnie nie określa zachowania wskaźnika. W takich przypadkach zachowanie wskaźnika jest:

**Zdefiniowane przez implementację**
: Niektóre przypadki są zdefiniowane w dokumentacji. Przykładem zachowania zdefiniowanego przez implementację jest propagacja najbardziej znaczącego bitu podczas operacji prawostronnej zamiany elementów typu `integer`.

**Nieokreślone**
: Niektóre implementacje są ustalone, ale nieudokumentowane. Przykładem tego może być ilość pamięci alokowanej przez funkcję `malloc` z argumentem zerowym. Listę tego typu zachowań można znaleźć w CERT Secure Coding, w załączniku DD (*http://bit.ly/YOFY8s*).

**Niezdefiniowane**
: W takich przypadkach nie istnieją żadne nałożone wymagania, a więc może wyniknąć dosłownie wszystko. Takim przykładem jest dealokacja wartości wskaźnika za pomocą funkcji `free`. Listę tego typu przypadków można znaleźć w CERT Secure Coding w załączniku CC (*http://bit.ly/16msOVK*).

Niektóre zachowania są czasami określone miejscowo. Można je zwykle znaleźć w dokumentacji kompilatora. Tolerancja wynikająca z istnienia zachowań określonych miejscowo pozwala na generowanie bardziej wydajnego kodu.

## Deklarowanie wskaźników

Deklaracja zmiennej będącej wskaźnikiem składa się z następujących po sobie elementów: typu danych, gwiazdki, nazwy wskaźnika. W poniższym przykładzie zadeklarowano obiekt typu `integer`, a także wskaźnik na element typu `integer`:

```
int num;
int *pi;
```



Kup ksi k    Pole ksi k

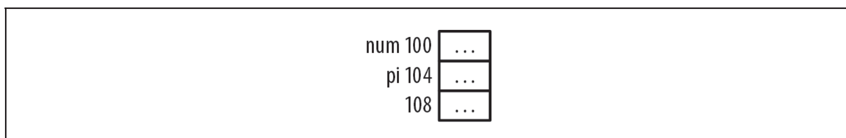
Stosowanie w zapisie znaku spacji nie ma tutaj znaczenia. Poniższe przykłady są równoznaczne z zapisem umieszczonym powyżej:

```
int* pi;
int * pi;
int *pi;
int*pi;
```

Stosowanie znaku spacji jest indywidualną sprawą użytkownika.

Gwiazdka informuje o tym, że dana zmienna jest wskaźnikiem. Symbol ten jest bardzo często używany. Korzysta się z niego również podczas manipulowania wskaźnikiem i wyłuskiwania go.

Rysunek 1.2 wizualizuje sposób alokowania pamięci dla powyższych deklaracji. Komórki pamięci są przedstawione za pomocą trzech prostokątów. Numery znajdujące się po lewej stronie odpowiadają adresom zmiennych. Adres numer 100 został tu zastosowany w celu uczynienia rysunku wyraźniejszym. Zwykle nie znamy dokładnych adresów wskaźników ani jakichkolwiek innych zmiennych. W większości sytuacji taki dokładny adres nie interesuje nas jako programistów. Wielokropki symbolizują pamięć niezainicjowaną.




*Rysunek 1.2. Schemat pamięci*

Wskaźniki na niezainicjowaną pamięć mogą być problematyczne. Gdy poddamy taki wskaźnik dereferencji, prawdopodobnie jego zawartość nie będzie określała poprawnego adresu. W przypadku, gdy będzie wskazywać na poprawny adres, może on nie zawierać poprawnych danych. Niepoprawnym adresem nazywamy adres, do którego dany program nie ma praw dostępu. Zaistnienie takiego adresu spowoduje na większości platform zakończenie działania programu. Jak opisano w rozdziale 7., może to prowadzić do licznych, poważnych problemów.

Zmienne `num` oraz `pi` znajdują się odpowiednio pod adresami 100 i 104. Zakładamy, że obie zmienne zajmują po 4 bajty każda. Rozmiary te mogą być różne w zależności od konfiguracji systemu. Zagadnienie to opisano



Kup ksi k Pole ksi k

szerzej w podrozdziale „Rodzaje wskaźników i ich rozmiary”. Jeżeli nie zaznaczono inaczej, przyjmujemy w przedstawianych przykładach, że wszystkie obiekty typu `integer` zajmują po cztery bajty.

W celu wyjaśnienia zasad działania wskaźników będziemy korzystać z adresów pamięci, takich jak np. 100. W dużym stopniu uprości to przykłady. Kiedy samodzielnie wykonasz zaprezentowane przykłady, otrzymasz zupełnie inne adresy. Adresy te mogą być różne w kolejnych uruchomieniach tego samego programu.

Warto pamiętać o tym, że:

- Wskaźnik `pi` powinien w końcu być przypisany do adresu zmiennej typu całkowitoliczbowego (`integer`).
- Przedstawione zmienne nie zostały zainicjowane, a więc zawierają bezużyteczne dane.
- Implementacja wskaźnika nie zawiera w swojej istocie niczego, co by mogło sugerować typ danych, na jakie wskazuje wskaźnik, oraz informować o poprawności wskazywanych danych. Jednakże, jeżeli określiliśmy typ wskaźnika, kompilator będzie sygnalizować sytuacje, w których wskaźnik nie będzie stosowany prawidłowo.

Poprzez dane bezużyteczne należy rozumieć takie elementy, które po alokowaniu pamięci mogą zawierać dowolne wartości. Pamięć nie jest czyszczona po alokacji. Wcześniej mogły być w niej już zapisane jakieś dane. Jeżeli dany obszar pamięci wcześniej zawierał liczbę zmiennoprzecinkową, to interpretacja jej jako liczby całkowitej nie ma sensu. Nawet jeżeli była tam zapisana liczba całkowita, to prawdopodobnie nie będzie nam ona do niczego potrzebna. Dlatego dane zawarte w takiej pamięci są bezużyteczne.

Wskaźnik może być stosowany bez uprzedniego zainicjowania, jednakże może on nie działać prawidłowo do momentu inicjalizacji.

## Interpretowanie deklaracji

Aby zrozumieć działanie wskaźników, warto przyjrzeć się ich deklaracjom. Należy je odczytywać od końca. Co prawda nie omówiliśmy jeszcze wskaźników na stałe, jednakże przyjrzyjmy się poniższej deklaracji.

```
const int *pci;
```



Kup ksi k Pole ksi k

Odczytanie deklaracji od końca pozwoli Ci na jej stopniowe odszyfrowanie (patrz rysunek 1.3).

| | |
|---|---|
| 1. `pci` jest zmienną | `const int *pci;` |
| 2. `pci` jest zmienną będącą wskaźnikiem | `const int *pci;` |
| 3. `pci` jest zmienną będącą wskaźnikiem na element typu integer (liczba całkowita) | `const int *pci;` |
| 4. `pci` jest zmienną będącą wskaźnikiem na stałą liczby całkowitej (typu integer) | `const int *pci;` |

*Rysunek 1.3. Odczytywanie deklaracji*

Według wielu programistów interpretowanie deklaracji „od końca" jest łatwiejsze.

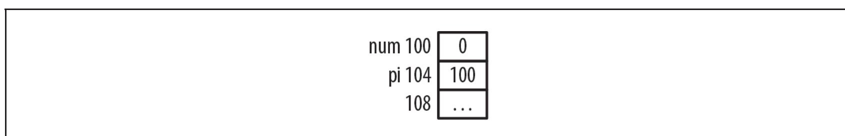
Pracując ze złożonymi wskaźnikami, rysuj ich schematy. Takie schematy zostaną przedstawione przy wielu omawianych przykładach.

## Operator adresu

Operator adresu `&` zwróci adres argumentu wyrażenia. Stosując adres zmiennej `num`, możesz zainicjować wskaźnik `pi`:

```
int num;
pi = &num;
```

Zmiennej `num` przypisano wartość zero, a zmienna `pi` ma wskazywać na adres zmiennej `num`. Ilustruje to poniższy rysunek.




*Rysunek 1.4. Przyporządkowanie pamięci*

Już podczas deklaracji zmiennych możesz zainicjować `pi`, aby wskazywała na adres `num`:

```
int num;
int *pi = &num;
```

Jednakże zastosowanie poniższych deklaracji w większości kompilatorów spowoduje wyświetlenie informacji o błędzie składni:

```
num = 0;
pi = num;
```



Kup ksi k Pole ksi k

Wyświetli się komunikat błędu o następującej treści:

```
error: invalid conversion from 'int' to 'int*'
```

Zmienna `pi` jest wskaźnikiem na obiekt typu `integer`, a `num` jest zmienną typu `integer`. Komunikat o błędzie informuje nas, że nie możemy dokonać konwersji.

Przypisanie elementu typu `integer` do wskaźnika zwykle powoduje wyświetlenie przez kompilator ostrzeżenia lub komunikatu o błędzie.

Wskaźniki różnią się od zmiennych typu `integer`. Co prawda obydwa te elementy mogą być przechowywane w pamięci przy użyciu takiej samej liczby bajtów, jednakże są pomiędzy nimi znaczące różnice. Istnieje możliwość rzutowania zmiennej typu `integer` na wskaźnik na zmienną typu `integer`:

```
pi = (int *)num;
```

Zastosowanie powyższej instrukcji nie spowoduje wyświetlenia komunikatu o błędzie składni, jednakże wykonywany program może ulec anormalnemu zakończeniu podczas próby dereferencji wartości o adresie zero. W większości systemów operacyjnych nie zawsze można wykorzystywać adres zerowy. Problematykę tę opisano szerzej w podrozdziale „Pojęcie braku wartości”.

Dobrą praktyką stosowaną w programowaniu jest jak najszybsze inicjowanie wskaźnika, co ilustruje poniższy przykład:

```
int num;
int *pi;
pi = &num;
```

## Wyświetlanie wartości wskaźników

W praktyce bardzo rzadko spotkasz zmienne posiadające adresy takie jak 100 i 104. Adres zmiennej można wyświetlić za pomocą następujących instrukcji:

```
int num = 0;
int *pi = &num;
printf("Adres num: %d Wartosc: %d\n",&num, num);
printf("Adres pi: %d Wartosc: %d\n",&pi, pi);
```



Kup ksi k Pole ksi k

Po wykonaniu powyższych instrukcji uzyskasz dane wyjściowe podobne do poniższych. W tym przykładzie podaliśmy prawdziwe adresy. Adresy uzyskane przez Ciebie będą prawdopodobnie inne.

```
Adres num: 4520836 Wartosc: 0
Adres pi: 4520824 Wartosc: 4520836
```

Korzystając z funkcji `printf` podczas pracy ze wskaźnikami, możesz stosować inne przydatne specyfikatory pola. Przedstawiono je w tabeli 1.2.

*Tabela 1.2. Specyfikatory pola*

| Specyfikator | Funkcja specyfikatora |
|---|---|
| %x | wyświetla wartość w postaci liczby w systemie szesnastkowym |
| %o | wyświetla wartość w postaci liczby w systemie ósemkowym |
| %p | wyświetla wartość właściwą dla implementacji, zwykle jest to liczba w postaci szesnastkowej |

Poniższe przykłady ilustrują zastosowanie tych specyfikatorów:

```
printf("Adres pi: %d Wartosc: %d\n",&pi, pi);
printf("Adres pi: %x Wartosc: %x\n",&pi, pi);
printf("Adres pi: %o Wartosc: %o\n",&pi, pi);
printf("Adres pi: %p Wartosc: %p\n",&pi, pi);
```

Powyższy ciąg instrukcji spowoduje wyświetlenie adresu i zawartości `pi`. W tym przypadku `pi` przechowuje adres `num`.

```
Adres pi: 4520824 Wartosc: 4520836
Adres pi: 44fb78 Wartosc: 44fb84
Adres pi: 21175570 Wartosc: 21175604
Adres pi: 0044FB78 Wartosc: 0044FB84
```

Specyfikator `%p` różni się od specyfikatora `%x`. Zwykle wyświetla liczbę w systemie szesnastkowym, stosując wielkie litery. O ile nie zaznaczono inaczej, specyfikator `%p` będzie stosowany do wyświetlania adresów.

Konsekwentne wyświetlanie wartości wskaźników na różnych platformach jest zadaniem trudnym. Jednym ze sposobów na to jest rzutowanie wskaźnika jako wskaźnik na `void`, a następnie wyświetlenie go za pomocą specyfikatora `%p`:

```
printf("Wartosc pi: %p\n", (void*)pi);
```

Wskaźniki na `void` szerzej omówiono w podrozdziale „Wskaźniki na void”. Aby prezentowane przykłady były bardziej zrozumiałe, będziemy stosować specyfikator `%p` bez rzutowania adresu na wskaźnik na `void`.



Kup ksi k     Pole ksi k

### Pamięć wirtualna i wskaźniki

W rzeczywistości wyświetlanie adresów wskaźników jest jeszcze bardziej złożone. Adresy wskaźników wyświetlane przez **wirtualny system operacyjny** prawdopodobnie nie będą ich prawdziwymi, fizycznymi adresami. Wirtualny system operacyjny pozwala na umieszczenie programu w fizycznej pamięci komputera po uprzednim podzieleniu go na kilka części. Aplikacja jest dzielona na strony (ramki). Strony odzwierciedlają obszary głównej pamięci komputera. Strony aplikacji są alokowane w różnych, niekoniecznie sąsiadujących ze sobą obszarach pamięci. Ponadto strony programu wcale nie muszą znajdować się jednocześnie w pamięci. Jeżeli system operacyjny potrzebuje pamięci obecnie zajmowanej przez ramkę, ramka może zostać przeniesiona do pamięci pomocniczej. Gdy ramka znów będzie potrzebna, system operacyjny może ją przenieść z powrotem do pamięci, nawet pod inny adres. Ta funkcja systemu operacyjnego sprawia, że zarządzanie pamięcią jest procesem bardzo elastycznym.

Każdy program zakłada potencjalną możliwość uzyskania dostępu do całej pamięci dostępnej fizycznie w komputerze. W rzeczywistości jest nieco inaczej. Program korzysta z adresów wirtualnych. Gdy zachodzi potrzeba, system operacyjny mapuje adresy wirtualne do pamięci fizycznej.

Oznacza to, że podczas wykonywania programu kod i dane przechowywane przez stronę mogą znajdować się w różnych fizycznych lokacjach. Wirtualne adresy aplikacji nie zmieniają się. Są to właśnie te adresy, które analizowaliśmy, przyglądając się zawartości wskaźników. System operacyjny mapuje adresy wirtualne na adresy rzeczywiste w sposób transparentny.

Jest to rzecz w pełni obsługiwana przez system operacyjny. Programista nie ma nad tym procesem kontroli, a także nie musi się nim przejmować. Zrozumienie tego zagadnienia pomoże w wyjaśnieniu adresów zwracanych przez program działający w wirtualnym systemie operacyjnym.

## Wyłuskiwanie wskaźnika za pomocą operatora adresowania pośredniego

Operator adresowania pośredniego — * — zwraca wartość, na którą wskazuje zmienna wskaźnika. Taką operację nazywa się wyłuskaniem (dereferencją) wskaźnika. W poniższym przykładzie zadeklarowano i zainicjowano zmienne `num` i wskaźnik `pi`:

```
int num = 5;
int *pi = &num;
```



Kup ksi k Pole ksi k

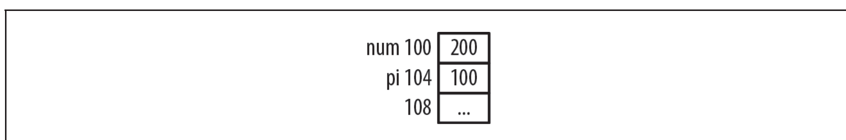
Zastosujmy operator adresowania pośredniego, aby wyświetlić 5 — wartość przechowywaną przez `num`:

```
printf("%p\n",*pi); // wyświetla 5
```

Rezultat dereferencji możemy również wykorzystać w roli **lvalue** (wartości lewostronnej). Termin ten odnosi się do argumentu znajdującego się po lewej stronie operatora przypisania. Wszystkie wartości lewostronne muszą być modyfikowalne w celu przeprowadzenia operacji przypisania.

W poniższym przykładzie przypiszesz wartość 200 do zmiennej typu `integer` wskazywanej przez `pi`. W związku z tym, że wskaźnik wskazuje na zmienną `num`, wartość 200 zostanie przypisana do tej zmiennej. Rysunek 1.5 ilustruje wpływ tej operacji na stan pamięci.

```
*pi = 200;
printf("%d\n",num); // wyświetla 200
```




*Rysunek 1.5. Przydzielenie pamięci podczas korzystania z operatora dereferencji*

## Wskaźniki na funkcje

Wskaźnik może być zadeklarowany tak, aby wskazywał na funkcję. Zapis takiej deklaracji jest nieco skomplikowany. Poniżej przedstawiono sposób deklaracji wskaźnika na funkcję. Nie przekazujemy żadnych argumentów do funkcji, a funkcja niczego nie zwraca. Wskaźnik nazywamy **`foo`**:

```
void (*foo)();
```

Wskaźniki na funkcję są obszernym tematem poruszonym w rozdziale 3.

## Pojęcie wartości null

Zagadnienia związane z wartością `null` są ciekawe, aczkolwiek często mylone. Pomyłka może nastąpić w wyniku tego, że często mamy do czynienia z różnymi, choć podobnymi do siebie pojęciami, takimi jak:

- brak wartości,
- stała będąca wskaźnikiem zerowym,
- makro `NULL`,



Kup ksi k Pole ksi k

- znak `NUL` w ASCII,
- pusty łańcuch znakowy,
- porównanie do wartości `null`.

Przypisanie wartości `NULL` wskaźnikowi skutkuje tym, że wskaźnik nie będzie niczego wskazywał. Pojęcie `null` (braku wartości) odnosi się do tego, że wskaźnik może przechowywać określoną wartość, która nie jest równa innemu wskaźnikowi. Wskaźnik pusty nie wskazuje adresu pamięci. Dwa puste wskaźniki są zawsze równe. Pustym można uczynić wskaźnik dowolnego typu (np. wskaźnik na znak, wskaźnik na zmienną typu `integer`), jednakże w praktyce jest to rzadko stosowany zabieg.

Pojęcie braku wartości jest pewną abstrakcją obsługiwaną za pomocą stałej wskaźnika pustego. Stała ta może, ale nie musi, być równa zeru. Programista języka C nie musi się przejmować jej wewnętrzną reprezentacją.

Makro `NULL` jest zerową stałą typu `integer` rzutowaną na wskaźnik na `void`. W wielu bibliotekach jest ona zdefiniowana w następujący sposób:

```
#define NULL ((void *)0)
```

To jest właśnie to, co zwykle nazywamy pustym wskaźnikiem. Jego definicję możesz znaleźć w różnych plikach nagłówkowych, takich jak: *stddef.h*, *stdlib.h*, i *stdio.h*.

Jeżeli kompilator stosuje niezerowy wzorzec do reprezentacji wartości zerowej, to taki kompilator musi zapewnić to, że wszystkie wskaźniki, w których kontekście zastosowano `0` i `NULL`, będą traktowane jako puste. Właściwa wewnętrzna reprezentacja braku wartości jest definiowana przez implementację. Symbole `NULL` i `0` są stosowane na poziomie języka tylko w celu utworzenia pustego wskaźnika.

Znak `NUL` w ASCII jest bajtem zawierającym same zera. Jednakże jest to coś zupełnie innego niż pusty wskaźnik. Łańcuch w języku C jest zapisywany jako ciąg znaków zakończonych wartością zerową. Pusty łańcuch nie zawiera żadnych znaków. Pusta instrukcja jest to instrukcja składająca się z samego średnika.

Jak się później przekonasz, pusty wskaźnik bardzo się przydaje do implementacji różnych struktur danych, takich jak np. listy powiązane, gdzie jest on stosowany do oznaczania końca listy.

Jeżeli naszym zamiarem jest przypisanie wartości zerowej wskaźnikowi `pi`, możemy to zrobić w następujący sposób:

```
pi = NULL;
```



Kup ksi k Pole ksi k

Pusty wskaźnik to nie to samo co wskaźnik niezainicjowany. Wskaźnik niezainicjowany może zawierać dowolną wartość. Z kolei pusty wskaźnik nie wskazuje żadnego miejsca w pamięci.

Co ciekawe, możemy przypisać wskaźnikowi wartość zerową, ale nie możemy mu przypisać żadnej innej wartości typu `integer`. Przyjrzyj się następującym operacjom przypisania:

```
pi = 0;
pi = NULL;
pi = 100; // spowoduje powstanie błędu składni
pi = num; // spowoduje powstanie błędu składni
```

Wskaźnik może być zastosowany jako samodzielny argument wyrażenia logicznego. Sprawdźmy na przykład, czy w wyniku zastosowania poniższego kodu wskaźnik będzie pusty:

```
if(pi) {
    // wskaźnik nie jest pusty
} else {
    // wskaźnik jest pusty
}
```

Każde z dwóch zastosowanych wyrażeń jest prawidłowe, jednakże takie ich stosowanie jest zbędne. Bardziej czytelne, aczkolwiek niekonieczne, jest bezpośrednie porównanie z `NULL`.

Jeżeli w tym kontekście wskaźnikowi `pi` przypisano wartość `NULL`, będzie ona interpretowana jako zero binarne. Instrukcja `else` zostanie wykonana, jeżeli `pi` będzie zawierać `NULL`, ponieważ w języku C zero jest binarną reprezentacją fałszu.

```
if(pi == NULL) ...
if(pi != NULL) ...
```

Nie powinno się dokonywać dereferencji pustych wskaźników, ponieważ nie zawierają one prawidłowego adresu. Próba wykonania takiej operacji będzie skutkować zakończeniem działania programu.

## Przypisywać wartość zerową czy nie?

Co jest lepsze podczas pracy ze wskaźnikami? Przypisywanie im wartości `0` czy `NULL`? Każdy wybór jest dobry. Niektórzy programiści wolą stosować `NULL`, ponieważ przypomina im to o tym, że pracują ze wskaźnikami. Inni uważają, że nie jest to konieczne, ponieważ zero jest po prostu ukryte.



Kup ksi k Pole ksi k

Nie powinno się jednakże stosować NULL w kontekście innym niż wskaźniki. Nie zawsze da to pożądany efekt. Z pewnością będzie problematyczne, gdy zostanie zastosowane zamiast znaku ASCII NUL. Znak ten w języku C nie jest definiowany przez żaden standardowy plik nagłówkowy. Jest on ekwiwalentem łańcucha znakowego \0, który, jako wartość dziesiętna, oznacza zero.

Znaczenie zera zmienia się w zależności od kontekstu, w jakim zostało ono użyte. W jednym kontekście może oznaczać liczbę całkowitą, w innym pusty wskaźnik. Przeanalizuj poniższy przykład:

```
int num;
int *pi = 0; // zero odnosi się do pustego wskaźnika
pi = &num;
*pi = 0; // zero odnosi się do elementu będącego liczbą całkowitą
```

Przyzwyczailiśmy się do operatorów pełniących wiele funkcji. Takim operatorem jest na przykład gwiazdka. Jest ona stosowana do deklarowania wskaźników, dereferencji wskaźników, a także jest operatorem mnożenia. Zero jest również elementem pełniącym wiele funkcji. Może być to dla Ciebie kłopotliwe, zwłaszcza jeżeli nie jesteś przyzwyczajony do tego, że argumenty operacji mogą pełnić wiele funkcji.

## Wskaźniki na void

Wskaźnik na void jest wskaźnikiem ogólnego stosowania. Jest on przeznaczony do przechowywania odniesień do danych dowolnego typu. Oto przykładowy wskaźnik na void:

```
void *pv;
```

Przedstawiony wskaźnik posiada dwie interesujące właściwości:

- Wskaźnik na void ma taką samą reprezentację i organizację pamięci jak wskaźnik na char.
- Wskaźnik na void nigdy nie będzie równy innemu wskaźnikowi. Jednakże dwa wskaźniki na void, do których przypisano wartość NULL, będą sobie równe.

Każdy wskaźnik może zostać przypisany do wskaźnika na void. Później taki wskaźnik można z powrotem rzutować na jego początkowy typ. Po takiej operacji wartość wskaźnika będzie równa wartości wskaźnika przed zmianami. Taką operację pokazano poniżej. Wskaźnik int jest przypisywany do wskaźnika na void, a następnie wraca do swojej pierwotnej postaci:

```
int num;
int *pi = &num;
printf("Wartosc pi: %p\n", pi);
```



Kup ksi k Pole ksi k

```
void* pv = pi;
pi = (int*) pv;
printf("Wartosc pi: %p\n", pi);
```

Adresy wyświetlone w wyniku działania tego programu będą identyczne:

```
Value of pi: 100
Value of pi: 100
```

Wskaźniki na `void` są stosowane przy wskaźnikach na dane, a nie wskaźnikach na funkcje. W podrozdziale „Polimorfizm w języku C" ponownie przyjrzymy się zastosowaniu wskaźników na `void` w odniesieniu do zachowań polimorficznych.

Bądź ostrożny, gdy stosujesz wskaźniki na `void`. Jeżeli przeprowadzisz operację rzutowania dowolnego wskaźnika na `void`, nic nie będzie zabezpieczać przed ewentualnym rzutowaniem go na inny typ wskaźnika.

Operator `sizeof` może być stosowany ze wskaźnikami na `void`, jednakże nie można go stosować w następujący sposób:

```
size_t size = sizeof(void*); // niedozwolona operacja
size_t size = sizeof(void); // niedozwolona operacja
```

Typ `size_t` jest typem danych stosowanym do rozmiarów. Omówiono go w podrozdziale „Predefiniowane typy związane ze wskaźnikami".

## Wskaźniki globalne i statyczne

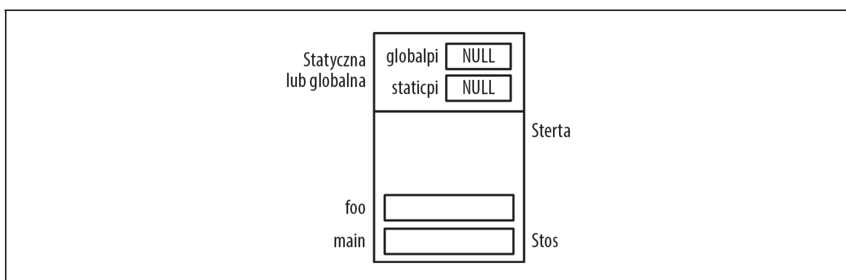
W chwili uruchomienia programu wskaźnik jest inicjowany wartością `NULL` (jeżeli jest zadeklarowany jako globalny lub statyczny). Poniżej przedstawiono przykłady wskaźników globalnego i statycznego.

```
int *globalpi;
void foo() {
   static int *staticpi;
   ...
}
int main() {
   ...
}
```

Na rysunku 1.6 przedstawiono ułożenie tych wskaźników w pamięci. Ramki stosu są odkładane na stos, a sterta jest wykorzystywana do dynamicznej alokacji pamięci. Przestrzeń pamięci ponad stosem jest wypełniana zmiennymi globalnymi i statycznymi. Jest to tylko diagram ideowy. Zmienne globalne i statyczne są często umieszczane w segmencie danych oddzielonym od segmentu, w którym znajdują się stos i sterta. Sterta i stos programu zostaną szczegółowo omówione w rozdziale „Sterta i stos programu".



Kup ksi k    Pole ksi k




*Rysunek 1.6. Wskaźniki globalne i statyczne — alokacja pamięci*

# Rodzaje wskaźników i ich rozmiary

Rozmiar wskaźnika jest problemem, którym programista zaczyna się martwić, gdy musi zadbać o przenośność i kompatybilność aplikacji. W większości nowoczesnych platform rozmiar wskaźnika na dane jest zwykle identyczny, niezależny od typu wskaźnika. Wskaźnik do znaku ma taki sam rozmiar jak wskaźnik do struktury. Dzieje się tak nawet pomimo tego, że standard języka C nie określa tego, że rozmiary wskaźników mają być identyczne. Jednakże wskaźnik na funkcję może się różnić pod względem rozmiaru od wskaźnika na dane.

Rozmiar wskaźnika zależy od maszyny oraz kompilatora. Na przykład w nowych wersjach systemu Windows wskaźniki mają rozmiar 32 lub 64 bitów. W systemie DOS oraz Windows 3.1 wskaźniki miały długość 16 lub 32 bitów.

## Modele pamięci

Wprowadzenie maszyn 64-bitowych sprawiło, że różnice w ilości pamięci alokowanej dla poszczególnych typów danych stały się zauważalne. Różne komputery i kompilatory oferują różne opcje alokowania danych. Poniżej zaprezentowano popularne notacje służące do opisu różnych modeli danych:

```
I In L Ln LL LLn P Pn
```

Każda wielka litera symbolizuje dane typu `integer` (I), dane typu `long` (L) lub wskaźnik (P). Małe litery symbolizują liczbę bitów alokowanych dla danego typu danych. Tabela 1.3 ilustruje to dokładniej. Podano w niej rozmiar w bitach.



Kup ksi k Pole ksi k

*Tabela 1.3. Komputery i modele pamięci*

| Typ danych (w języku C) | LP64 | ILP64 | LLP64 | ILP32 | LP32 |
|---|---|---|---|---|---|
| `char` | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| `short` | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| `_int32` | | 32 | | | |
| `int` | 32 | 64 | 32 | 32 | 16 |
| `long` | 64 | 64 | 32 | 32 | 32 |
| `long long` | | | 64 | | |
| wskaźnik | 64 | 64 | 64 | 32 | 32 |

Model zależy od systemu i kompilatora. System operacyjny może obsługiwać więcej niż jeden model. W takim przypadku możliwe jest zarządzanie przy użyciu odpowiednich opcji kompilatora.

# Predefiniowane typy związane ze wskaźnikami

Istnieją cztery predefiniowane typy, które są często używane ze wskaźnikami:

`size_t`
: Zapewnia rozmiarom bezpieczny typ.

`ptrdiff_t`
: Obsługuje arytmetykę wskaźników.

`intptr_t` i `uintprt_t`
: Stosowane do przechowywania adresów wskaźników.

W poniższych podrozdziałach przedstawiono zastosowanie każdego z wymienionych wyżej typów, z wyjątkiem `ptrdiff_t`, który zostanie omówiony w podrozdziale „Odejmowanie wskaźników".

## Typ size_t

Typ `size_t` reprezentuje maksymalny rozmiar dowolnego obiektu istniejącego w języku C. Do reprezentacji stosowana jest liczba całkowita bez znaku. Rozmiar nie może być liczbą ujemną. Typ `size_t` służy do deklarowania rozmiaru zgodnie z dostępnym adresowalnym obszarem pamięci. Typ `size_t` jest stosowany jako typ zwracany dla operatora `sizeof`. Ponadto jest on argumentem dla wielu funkcji, takich jak np. `malloc` i `strlen`.



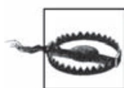
Kup ksi k Pole ksi k

Dobrą praktyką jest stosowanie `size_t` podczas deklaracji zmiennych określających rozmiary liczb, łańcuchów znaków oraz tablic. Typ ten powinien być stosowany do liczników pętli, indeksowania tablic, a czasami także do arytmetyki wskaźnikowej.

Deklaracja `size_t` jest określana przez implementację. Można ją odnaleźć w wielu standardowych nagłówkach, takich jak *stdio.h* i *stdlib.h*. Zwykle jest ona definiowana w następujący sposób:

```
#ifndef __SIZE_T
#define __SIZE_T
typedef unsigned int size_t;
#endif
```

Dyrektywa `define` zapewnia to, że deklaracja będzie wyłącznie jednokrotna. Rzeczywisty rozmiar będzie zależał od implementacji. W przypadku systemów 32-bitowych `size_t` będzie miał zwykle długość 32 bitów, a w przypadku systemów 64-bitowych długość ta wyniesie 64 bity. Zwykle najwyższą wartością `size_t` jest `SIZE_MAX`.



Typ `size_t` może być zwykle stosowany do przechowywania wskaźnika. Nie można jednakże zakładać, że `size_t` będzie takiego samego rozmiaru jak wskaźnik. W kolejnym podrozdziale dowiesz się, że lepiej w tym celu skorzystać z `intptr_t`.

Musisz być ostrożny podczas wyświetlania wartości zdefiniowanych jako `size_t`. Są to wartości bez znaku (typu `unsigned`), a więc jeżeli wybierzesz nieprawidłowy specyfikator formatu, wyświetlisz nieprawidłowe dane. Zalecanym specyfikatorem formatu jest `%zu`, jednakże nie zawsze jest on dostępny. Dopuszcza się również stosowanie specyfikatorów `%u` lub `%lu`.

Przyjrzyj się poniższemu przykładowi. Najpierw zadeklarowano w nim zmienną jako `size_t`, a następnie wyświetlono ją przy użyciu dwóch różnych specyfikatorów:

```
size_t sizet = -5;
printf("%d\n",sizet);
printf("%zu\n",sizet);
```

Zmienna typu `size_t` powinna być używana do dodatnich liczb całkowitych. Stosowanie wartości ujemnej może prowadzić do problemów. Gdy przypiszemy liczbę ujemną do `size_t`, a następnie ją wyświetlimy, korzystając ze specyfikatorów `%d` i `%zu`, otrzymamy następujące wyniki:

```
-5
4294967291
```



Kup ksi k Pole ksi k

Korzystając ze specyfikatora %d, interpretujemy size_t jako liczbę całkowitą ze znakiem. Wyświetlono –5, ponieważ size_t przechowuje –5. Specyfikator %zu interpretuje zawartość size_t jako liczbę całkowitą bez znaku. Podczas interpretowania liczby –5 jako liczby całkowitej bez znaku najbardziej znaczący bit tej liczby jest zmieniany na jedynkę, co jest interpretowane jako liczba 2 podniesiona do wysokiej potęgi. Z tego powodu po użyciu specyfikatora %zu wyświetlona została tak duża wartość.

Liczba dodatnia przy użyciu obu specyfikatorów zostanie wyświetlona poprawnie:

```
sizet = 5;
printf("%d\n",sizet); // Wyswietli 5
printf("%zu\n",sizet); // Wyswietli 5
```

Zmiennej typu size_t przypisuj tylko liczby dodatnie.

## Stosowanie operatora sizeof ze wskaźnikami

Operator sizeof może być stosowany do określenia rozmiaru wskaźnika. Poniższy kod wyświetla rozmiar wskaźnika na obiekt typu char:

```
printf("Rozmiar *char: %d\n",sizeof(char*));
```

Stosując ten kod, otrzymamy następujące dane wyjściowe:

```
Rozmiar *char: 4
```

Gdy chcesz wyświetlić rozmiar wskaźnika, zawsze korzystaj z operatora sizeof.

Wskaźniki na funkcje mogą mieć różne rozmiary. Zwykle ten rozmiar jest określony dla danej kombinacji systemu operacyjnego i kompilatora. Wiele kompilatorów obsługuje zarówno aplikacje 32-bitowe, jak i 64-bitowe. Możliwa jest więc sytuacja, w której ten sam program, skompilowany w inaczej skonfigurowanym kompilatorze, będzie zawierał wskaźniki o różnych rozmiarach.

W architekturze harwardzkiej kod programu i dane są przechowywane w fizycznie oddzielnych pamięciach. Przykładem układu o takiej architekturze jest mikrokontroler Intel MCS-51 (8051). Co prawda Intel zaprzestał produkcji tego układu, ale spotykanych i nadal produkowanych jest wiele układów binarnie z nim kompatybilnych. Kompilator Small Device C Compiler (w skrócie SDCC) obsługuje ten rodzaj mikroukładów. Procesor ten obsługuje wskaźniki o rozmiarze od 1 do 4 bajtów. Zależnie od potrzeby rozmiar wskaźnika musi zostać zdefiniowany, ponieważ w tym środowisku wskaźniki nie mają stałego rozmiaru.



Kup ksi k Pole ksi k

## Typy intptr_t i uintptr_t

Typy `intptr_t` i `uintptr_t` stosuje się do przechowywania adresów wskaźników. Dzięki nim można wygodnie i bezpiecznie deklarować wskaźniki. Mają one rozmiary identyczne z podstawowym rozmiarem wskaźnika w danym systemie. Można je stosować do konwersji wskaźnika na jego reprezentację w postaci obiektu typu `integer`.

Typ `uintptr_t` jest bezznakową wersją `intptr_t`. Typ `intptr_t` jest preferowany w przypadku większości operacji. Typ `uintptr_t` nie jest tak elastyczny jak `intptr_t`. Poniższy przykład pokazuje sposób użycia `intptr_t`:

```
int num;
intptr_t *pi = &num;
```

Jeżeli spróbujesz przypisać (tak jak pokazano poniżej) adres obiektu typu `integer` do wskaźnika typu `uintptr_t`, kompilator wyświetli informację o błędzie składni:

```
uintptr_t *pu = &num;
```

Treść komunikatu o błędzie konwersji będzie następująca:

```
error: invalid conversion from 'int*' to
   'uintptr_t* {aka unsigned int*}' [-fpermissive]
```

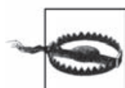
Aby uniknąć komunikatu o błędzie, musisz dokonać przypisania za pomocą rzutowania:

```
intptr_t *pi = &num;
uintptr_t *pu = (uintptr_t*)&num;
```

Nie możesz stosować `uintptr_t` z innymi typami danych bez rzutowania:

```
char c;
uintptr_t *pc = (uintptr_t*)&c;
```

Powinieneś stosować omówione właśnie typy, jeżeli jesteś przezorny i zależy Ci na kompatybilności. Nie będziemy ich jednakże stosować w wyjaśnieniach, ponieważ mogłoby to je niepotrzebnie zagmatwać.



Unikaj rzutowania wskaźnika na obiekt typu `integer`. Jeżeli wskaźniki są 64-bitowe, a obiekty typu `integer` tylko 4-bitowe, nastąpi utrata danych.



Kup ksi k Pole ksi k

Wczesne procesory firmy Intel posiadały 16-bitową architekturę segmentową. Stosowano tam wskaźniki bliskie i dalekie. Wskaźniki te nie są stosowane w nowoczesnych komputerach o architekturze pamięci wirtualnej. Omawiane wskaźniki stanowiły rozszerzenie standardu języka C. Służyły one do obsługi segmentowej architektury wczesnych procesorów firmy Intel. Wskaźniki bliskie mogły jednorazowo zaadresować około 64 KB pamięci. Wskaźniki dalekie mogły adresować do 1 MB pamięci, ale były wolniejsze od wskaźników bliskich. Wskaźniki ogromne były znormalizowanymi wskaźnikami dalekimi. Ich adresy wykorzystywały najwyższy dostępny segment.

# Operatory wskaźników

Istnieje kilka operatorów, których można używać podczas pracy ze wskaźnikami. Wcześniej omówiliśmy operatory wyłuskiwania i uzyskiwania adresu. W tym podrozdziale omówimy porównywanie wskaźników oraz działania arytmetyczne przeprowadzane przy użyciu wskaźników. Tabela 1.4 prezentuje operatory wskaźników.

*Tabela 1.4. Operatory wskaźników*

| Operator | Nazwa | Funkcja |
|---|---|---|
| * | | deklaracja wskaźnika |
| * | operator dereferencji | wyłuskiwanie wskaźnika |
| –> | operator odwołania | uzyskiwanie dostępu do półstruktur wskazywanych przez wskaźnik |
| + | dodawanie | inkrementacja wskaźnika |
| – | odejmowanie | dekrementacja wskaźnika |
| ==, != | równość, nierówność | porównywanie dwóch wskaźników |
| >, >=, <, <= | większy od, większy lub równy, mniejszy od, mniejszy lub równy | porównywanie dwóch wskaźników |
| (typ danych) | rzutowanie | zmiana typu wskaźnika |

# Arytmetyka wskaźnikowa

Na wskaźnikach na dane można przeprowadzać między innymi następujące operacje arytmetyczne:

- dodanie liczby całkowitej do wskaźnika,
- odjęcie liczby całkowitej od wskaźnika,



Kup ksi k Pole ksi k

- odjęcie od siebie dwóch wskaźników,
- porównywanie wskaźników.

Nie zawsze możliwe jest przeprowadzenie tych operacji na wskaźnikach na funkcje.

## Dodawanie liczby całkowitej do wskaźnika

Operacja ta jest przydatna i często stosowana. Podczas dodawania liczby całkowitej do wskaźnika dodawaną wartością jest wynik mnożenia liczby całkowitej przez liczbę bajtów podstawowego typu danych.

Rozmiar podstawowego typu danych jest różny w różnych systemach. Szerzej problem ten omówiono w podrozdziale „Modele pamięci”. Tabela 1.5 prezentuje często spotykane rozmiary. O ile nie zaznaczono inaczej, wartości te będą używane w przedstawionych w tej książce przykładach.

*Tabela 1.5. Typy danych i ich rozmiary*

| Typ danych | Rozmiar wyrażony w bajtach |
|---|---|
| `byte` | 1 |
| `char` | 1 |
| `short` | 2 |
| `int` | 4 |
| `long` | 8 |
| `float` | 4 |
| `double` | 8 |

W poniższym przykładzie zaprezentowano efekty dodawania liczby całkowitej do wskaźnika. W tym celu zastosowano tablicę wypełnioną liczbami całkowitymi. Z każdą jedynką dodaną do `pi` liczba cztery zostaje dodana do adresu. Rysunek 1.7 pokazuje alokację tych zmiennych. Aby umożliwić przeprowadzenie operacji arytmetycznych, zadeklarowano wskaźniki z typem danych. Znajomość rozmiarów poszczególnych typów danych pozwala na automatyczne dobranie wartości wskaźnika:

```
int vector[] = {28, 41, 7};
int *pi = vector; // pi: 100
printf("%d\n",*pi); // wyświetli 28
pi += 1; // pi: 104
printf("%d\n",*pi); // wyświetli 41
pi += 1; // pi: 108
printf("%d\n",*pi); // wyświetli 7
```



Kup ksi k    Pole ksi k

Gdy zastosujesz samą nazwę tablicy, zwrócony zostanie Ci adres tablicy. Ten adres jest także adresem pierwszego elementu tablicy.

| | |
|---|---|
| vector[0] 100 | 28 |
| vector[1] 104 | 41 |
| vector[2] 108 | 7 |
| pi 112 | 100 |

*Rysunek 1.7. Vector — alokacja pamięci*

W poniższej sekwencji dodamy do wskaźnika liczbę trzy. Zmienna `pi` będzie zawierać adres 112 — adres `pi`:

```
pi = vector;
pi += 3;
```

Wskaźnik wskazuje na siebie. Taka operacja nie jest bardzo przydatna, aczkolwiek pokazuje, że musisz być ostrożny, stosując działania arytmetyczne na wskaźnikach. Istnieje niebezpieczeństwo próby dostępu do pamięci poza obszarem tablicy. Należy tego unikać. Nie ma żadnej gwarancji na to, że zostanie nam zwrócona poprawna zmienna. Bardzo łatwo jest wyliczyć nieważny lub bezużyteczny adres.

Poniższa deklaracja zostanie użyta w celu przedstawienia operacji dodawania wykonanej najpierw z danymi typu `short`, a później z danymi typu `char`:

```
short s;
short *ps = &s;
char c;
char *pc = &c;
```

Załóżmy, że pamięć została alokowana w sposób przedstawiony na rysunku 1.8. Wszystkie zastosowane tu adresy mieszczą się w granicy czterech bajtów. Realne adresy mogą być przyporządkowane w innych granicach i w innej kolejności.

| | |
|---|---|
| s 120 | ... |
| ps 124 | 120 |
| c 128 | ... |
| pc 132 | 128 |

*Rysunek 1.8. Wskaźniki na short i char*



Kup ksi k Pole ksi k

Poniższa sekwencja kodu dodaje jeden do każdego wskaźnika, a następnie wyświetla jego zawartość:

```
printf("Zawartość ps przed: %d\n",ps);
ps = ps + 1;
printf("Zawartość ps po: %d\n",ps);
printf("Zawartość pc przed: %d\n",pc);
pc = pc + 1;
printf("Zawartość pc po: %d\n",pc);
```

Po uruchomieniu program powinien zwrócić dane podobne do poniższych:

```
Zawartosc ps przed: 120
Zawartosc ps po: 122
Zawartosc pc przed: 128
Zawartosc pc po: 129
```

Wskaźnik `ps` jest inkrementowany o dwa, ponieważ rozmiar obiektu typu `short` to dwa bajty. Wskaźnik `pc` jest inkrementowany o jeden, ponieważ jego rozmiar wynosi jeden bajt. Podobnie jak w poprzednim przykładzie, uzyskane adresy mogą nie zawierać przydatnych danych.

## Wskaźniki na void i dodawanie

Rozszerzenia większości kompilatorów pozwalają na wykonywanie działań arytmetycznych na wskaźnikach na `void`. Zakładamy, że rozmiar wskaźnika na `void` wynosi cztery. Próba dodania jedynki do wskaźnika na `void` może zakończyć się wyświetleniem komunikatu o błędzie składni. W poniższym fragmencie kodu zadeklarowano wskaźnik i dodano do niego jeden:

```
int num = 5;
void *pv = &num;
printf("%p\n",pv);
pv = pv+1; //ostrzeżenie o nieprawidłowej składni
```

Wyświetlone zostanie ostrzeżenie o następującej treści:

```
warning: pointer of type 'void *' used in arithmetic [-Wpointerarith]
```

Kompilator wyświetlił ostrzeżenie, ponieważ w języku C operacje arytmetyczne nie są standardowo przeprowadzane na wskaźnikach na `void`. Wynik będący adresem przechowywanym przez `pv` będzie jednakże inkrementowany o cztery bajty.

## Odejmowanie liczby całkowitej od wskaźnika

Liczby całkowite można odejmować od wskaźnika w taki sam sposób jak dodawać. Iloczyn rozmiaru typu danych i wartości danych obiektu typu `integer` jest odejmowany od adresu. Poniżej pokazano przykład ilustrujący odejmowanie liczby całkowitej od wskaźnika. W przykładzie zastosowano



Kup ksi k Pole ksi k

tabelę wypełnioną elementami typu `integer`. Pamięć zarezerwowaną dla tych zmiennych pokazano na rysunku 1.7.

```
int vector[] = {28, 41, 7};
int *pi = vector + 2; // pi: 108
printf("%d\n",*pi); // wyświetli 7
pi--; // pi: 104
printf("%d\n",*pi); // wyświetli 41
pi--; // pi: 100
printf("%d\n",*pi); // wyświetli 28
```

Za każdym razem, gdy od `pi` odjęto jeden, od adresu odjęto cztery.

## Odejmowanie wskaźników

Po odjęciu jednego wskaźnika od drugiego otrzymamy różnicę ich adresów. Jest to przydatne w zasadzie tylko do określania kolejności elementów w tablicy.

Różnica pomiędzy wskaźnikami jest liczbą „jednostek", o jakie się różnią. Znak różnicy zależy od kolejności argumentów. Jest to zgodne z mechanizmem dodawania wskaźników, gdzie do rozmiaru typu danych wskaźnika dodawano liczbę. Zastosujmy „jednostki" w roli argumentów. W poniższym przykładzie deklarujemy tablicę i wskaźniki do jej elementów. Następnie obliczamy ich różnicę.

```
int vector[] = {28, 41, 7};
int *p0 = vector;
int *p1 = vector+1;
int *p2 = vector+2;
printf("p2-p0: %d\n",p2-p0); // p2-p0: 2
printf("p2-p1: %d\n",p2-p1); // p2-p1: 1
printf("p0-p1: %d\n",p0-p1); // p0-p1: -1
```

W pierwszej instrukcji `printf` obliczyliśmy, że różnica pomiędzy położeniem ostatniego i pierwszego elementu tablicy wynosi 2. Oznacza to, że ich indeksy różnią się o 2. W ostatniej instrukcji `printf` otrzymaliśmy wynik –1. Oznacza to, że `p0` znajduje się bezpośrednio przed elementem, na który wskazuje `p1`. Na rysunku 1.9 przedstawiono alokację pamięci.

| | |
|---|---|
| vector[0] 100 | 28 |
| vector[1] 104 | 41 |
| vector[2] 108 | 7 |
| p0 112 | 100 |
| p0 116 | 104 |
| p0 120 | 108 |

*Rysunek 1.9. Odejmowanie dwóch wskaźników*



Kup ksi k Pole ksi k

Typ `ptrdiff_t` jest przenośnym sposobem wyrażania różnicy pomiędzy dwoma wskaźnikami. W poprzednim przykładzie wynik odejmowania dwóch wskaźników został zwrócony jako typ `ptrdiff_t`. Stosowanie tego typu ułatwia pracę z odejmowaniem wskaźników, ponieważ wskaźniki mogą różnić się pod względem rozmiaru.

Nie myl tej techniki z zastosowaniem operatora wyłuskiwania do odejmowania dwóch liczb. W poniższym przykładzie zastosujemy dwa wskaźniki w celu określenia różnicy pomiędzy wartościami przechowywanymi przez pierwszy i drugi element tablicy:

```
printf("*p0-*p1: %d\n",*p0-*p1); // *p0-*p1: -13
```

## Porównywanie wskaźników

Wskaźniki można porównywać za pomocą standardowych operatorów porównania. Zwykle takie porównywanie nie jest nam do niczego przydatne. Jednakże porównywanie wskaźników na elementy tablicy może nam pozwolić określić względną kolejność elementów tablicy.

Aby pokazać porównywanie wskaźników, skorzystamy z przykładu, na którym pracowaliśmy w podrozdziale „Odejmowanie wskaźników". Zastosujemy kilka operatorów porównania, które wyświetlą wyniki w postaci 1 (prawda), 0 (fałsz):

```
int vector[] = {28, 41, 7};
int *p0 = vector;
int *p1 = vector+1;
int *p2 = vector+2;
printf("p2>p0: %d\n",p2>p0); // p2>p0: 1
printf("p2<p0: %d\n",p2<p0); // p2<p0: 0
printf("p0>p1: %d\n",p0>p1); // p0>p1: 0
```

# Zastosowania wskaźników

Wskaźniki mogą być stosowane na wiele sposobów. W tym podrozdziale omówimy dwa zagadnienia:

- wielopoziomowe adresowanie pośrednie,
- wskaźniki na stałe.



Kup ksi k Pole ksi k

## Wielopoziomowe adresowanie pośrednie

Wskaźniki mogą być stosowane do wielopoziomowego adresowania pośredniego. Dość często spotyka się zmienne zadeklarowane jako wskaźnik na wskaźnik. Czasami są one nazywane **podwójnymi wskaźnikami**. Dobrym przykładem tego jest sytuacja, gdy argumenty programu są przekazywane do funkcji `main` za pomocą tradycyjnych parametrów `argc` i `argv`. Zagadnienie to zostanie dokładniej omówione w rozdziale 8.

W poniższym przykładzie użyto trzech tablic. Pierwszą tablicą jest tablica łańcuchów znaków zastosowana do przechowywania listy tytułów książek:

```
char *titles[] = {"Opowieść o dwóch miastach",
"Komu bije dzwon","Don Kichot",
"Odyseja","Moby Dick","Hamlet",
"Podróże Guliwera"};
```

Dwie pozostałe tablice mają być listami „najlepszych książek" oraz książek anglojęzycznych autorów. Zamiast przechowywać kopie tytułów, będą one przechowywały adresy tytułów umieszczonych w tablicy `titles`. Obie tablice będą musiały być zadeklarowane jako wskaźnik na wskaźnik na `char`. Elementy tych tablic będą przechowywały adresy elementów z tablicy `titles`. Dzięki temu tytuły nie będą musiały być duplikowane w pamięci. Będą zawarte tylko w jednym miejscu. Gdybyś chciał zmienić tytuł książki, będziesz musiał to zrobić tylko w jednym miejscu.

Poniżej przedstawiono deklaracje omówionych tablic. Każdy element tablicy zawiera wskaźnik, który wskazuje na drugi wskaźnik na `char`.

```
char **bestBooks[3];
char **englishBooks[4];
```

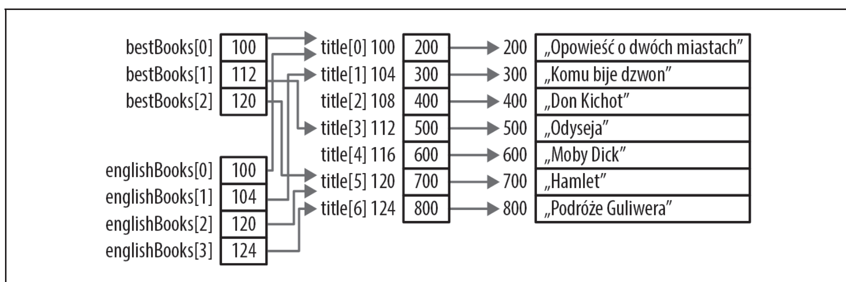
Obydwie tablice zostają zainicjowane, a jeden z ich elementów jest wyświetlony na ekranie. Podczas operacji przypisania wartość z prawej strony jest obliczana dzięki zastosowaniu w pierwszej kolejności operatora indeksu. Następnie pobierany jest adres operatora. Np. druga linia kodu w poniższym przykładzie przypisuje adres czwartego elementu tablicy `titles` do drugiego elementu tablicy `bestBooks`:

```
bestBooks[0] = &titles[0];
bestBooks[1] = &titles[3];
bestBooks[2] = &titles[5];
englishBooks[0] = &titles[0];
englishBooks[1] = &titles[1];
englishBooks[2] = &titles[5];
englishBooks[3] = &titles[6];
printf("%s\n",*englishBooks[1]); // Komu bije dzwon
```



Kup ksi k Pole ksi k

Rysunek 1.10 pokazuje alokacje pamięci dla powyższego przykładu.




*Rysunek 1.10. Wskaźniki do wskaźników*

Stosowanie wielopoziomowego adresowania pośredniego poszerza elastyczność pisanego kodu, a także poszerza wachlarz możliwości tworzenia kodu. Bez tej techniki przeprowadzenie niektórych operacji byłoby dość trudne. Zmiana adresu tytułu w przytoczonym przykładzie wymaga jedynie modyfikacji tablicy `title`. Nie musimy modyfikować pozostałych tablic.

Nie ma określonego ograniczenia co do liczby poziomów adresowania pośredniego. Oczywiście stosowanie zbyt wielu poziomów tego adresowania może okazać się dla Ciebie kłopotliwe i trudne.

# Stałe i wskaźniki

Możliwość zestawienia słowa klucza `const` ze wskaźnikami jest bardzo złożoną i przydatną cechą języka C. Możliwość ta daje programiście zestaw zabezpieczeń przydatnych podczas rozwiązywania różnych problemów. Wskaźnik na funkcję jest szczególnie przydatnym elementem języka C. W rozdziałach 3. i 5. dowiesz się, jak takie wskaźniki mogą chronić parametry funkcji przed modyfikacją.

## Wskaźniki na stałą

Wskaźniki można zdefiniować tak, aby wskazywały na stałą. Oznacza to, że wskaźnik nie może być zastosowany do modyfikowania wartości, do której się odnosi. W poniższym przykładzie zadeklarowano liczbę całkowitą (`integer`), a także stałą typu `integer`. Następnie zadeklarowano wskaźnik na liczbę całkowitą, a także wskaźnik na stałą typu `integer`, po czym zainicjowano je odpowiednimi liczbami:



Kup ksi k Pole ksi k

```
int num = 5;
const int limit = 500;
int *pi; // wskaźnik do liczby całkowitej
const int *pci; // wskaźnik na stałą typu integer
pi = &num;
pci = &limit;
```

Sytuację tę ilustruje rysunek 1.11.

| | |
|---|---|
| num 100 | 5 |
| limit 104 | 500 |
| pi 108 | 100 |
| pci 112 | 104 |

*Rysunek 1.11. Wskaźnik na stałą typu integer*

Poniższa sekwencja kodu wyświetla adresy i wartości zmiennych:

```
printf(" num - Adres: %p wartosc: %d\n",&num, num);
printf("limit - Adres: %p wartosc: %d\n",&limit, limit);
printf(" pi - Adres: %p wartosc: %p\n",&pi, pi);
printf(" pci - Adres: %p wartosc: %p\n",&pci, pci);
```

Program po uruchomieniu zwróci wartości zbliżone do poniższych:

```
num - Address: 100 value: 5
limit - Address: 104 value: 500
pi - Address: 108 value: 100
pci - Address: 112 value: 104
```

Jeżeli chcesz odczytać wartość elementu typu `integer`, możesz stosować wyłuskiwanie wskaźnika na stałą. Jak pokazano poniżej, odczyt jest w pełni dozwoloną, a wręcz niezbędną operacją:

```
printf("%d\n", *pci);
```

Nie możemy dokonać wyłuskania wskaźnika na stałą w celu modyfikacji wskazywanego obiektu, ale możemy dokonać modyfikacji wskaźnika. Wartość wskaźnika nie jest stałą. Wskaźnik można zmienić w celu wskazania na inną stałą typu `integer` bądź na obiekt typu `integer`. Czynność ta jest łatwa. Deklaracja po prostu ogranicza nasze możliwości modyfikowania wskazywanej zmiennej.

Dopuszczalne jest więc następujące przypisanie:

```
pci = &num;
```

Możemy dokonać dereferencji `pci` w celu jej odczytania, jednakże nie możemy dokonać dereferencji w celu jej modyfikacji.



Kup ksi k Pole ksi k

Przeanalizuj poniższe przypisanie:

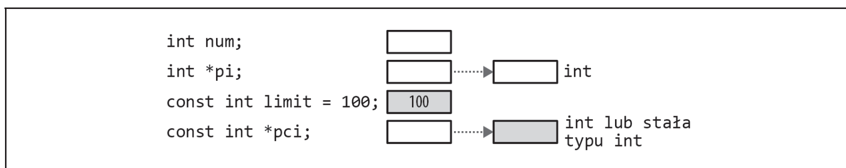
```
*pci = 200;
```

Spowoduje ono wyświetlenie następującego komunikatu o błędzie składni:

```
'pci' : you cannot assign to a variable that is const
```

Wskaźnik „myśli”, że wskazuje stałą typu `integer`, a więc zezwala na jej modyfikację. Możemy modyfikować `num` przy użyciu nazwy, ale nie możemy w tym celu korzystać z `pci`.

Rysunek 1.12 ilustruje pojęcie wskaźnika na stałą. Puste pola symbolizują zmienne, które można modyfikować. Zacieniowane pola symbolizują zmienne, których nie można modyfikować. Zacieniowane pole wskazywane przez `pci` nie może zostać zmienione za pomocą `pci`. Linie zakończone strzałkami ilustrują to, że wskaźnik może wskazywać na ten typ danych. W poprzednim przykładzie `pci` wskazywał na `limit`.




*Rysunek 1.12. Wskaźnik na stałą*

Deklaracja `pci` jako wskaźnika na stałą typu `integer` oznacza, że:

- `pci` może być przypisane do wskazywania na inne stałe typu `integer`;
- `pci` może być przypisane do wskazywania na inne obiekty typu `integer` niebędące stałymi;
- `pci` może być wyłuskiwane w celu odczytu;
- `pci` nie może być wyłuskiwane w celu zmiany tego, na co wskazuje.

Kolejność określenia typu i słowa klucza `const` nie musi być zachowana. Poniższe zapisy są sobie równoważne:

```
const int *pci;
int const *pci;
```

## Wskaźniki typu constant stosowane do obiektów niebędących stałymi

Istnieje możliwość zadeklarowania wskaźnika na stałą na obiekt niebędący stałą. Gdy dokonamy takiej deklaracji, nie będziemy mogli zmienić wskaźnika, ale uzyskamy możliwość modyfikacji wskazywanych danych. Przykładem takiego wskaźnika jest:



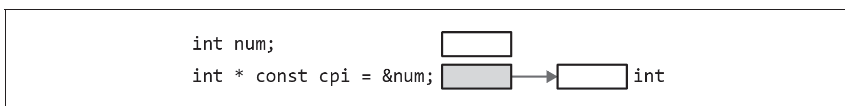
Kup ksi k    Pole ksi k

```
int num;
int *const cpi = &num;
```

Po takiej deklaracji:

- `cpi` musi być zainicjowane zmienną niebędącą stałą;
- `cpi` nie może być modyfikowane;
- dane, na które wskazuje `cpi`, mogą być modyfikowane.

Na rysunku 1.13 przedstawiono wskaźnik tego typu.




*Rysunek 1.13. Wskaźniki typu constant stosowane do obiektów niebędących stałymi*

Możliwe jest wyłuskanie `cpi` i przypisanie nowej wartości do jakiegokolwiek elementu wskazywanego przez `cpi`. Można tego dokonać na dwa sposoby:

```
*cpi = limit;
*cpi = 25;
```

Jeżeli jednakże spróbujemy zainicjować `cpi` stałą `limit`, tak jak pokazano to poniżej, zostanie wyświetlony komunikat z ostrzeżeniem.

```
const int limit = 500;
int *const cpi = &limit;
```

Ostrzeżenie będzie miało następującą treść:

```
warning: initialization discards qualifiers from pointer target type
```

Inicjacja odrzuca kwalifikatory z docelowego typu wskaźnika. Jeżeli `cpi` odsyłałoby do stałej `limit`, stała ta mogłaby być modyfikowana, co nie jest pożądane. W większości przypadków chcemy, aby stałe pozostawały stałymi.

Gdy już przypiszemy adres do `cpi`, nie możemy przypisać `cpi` żadnej nowej wartości:

```
int num;
int age;
int *const cpi = &num;
cpi = &age;
```

Na ekranie zostanie wyświetlony komunikat błędu informujący Cię o tym, że nie możesz przypisać niczego do zmiennej, która jest stałą:

```
'cpi' : you cannot assign to a variable that is const
```



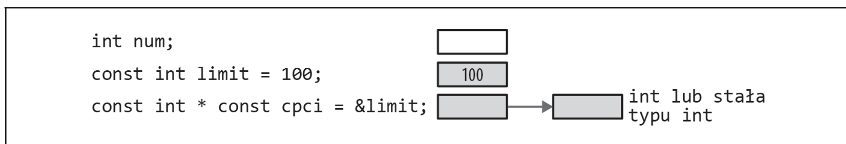
Kup ksi k Pole ksi k

## Wskaźniki typu constant stosowane do stałych

Rzadko stosuje się wskaźniki typu `constant` do obsługi stałych. W takim przypadku nie można modyfikować zarówno wskaźnika, jak i wskazywanych danych. Poniżej znajduje się przykład wskaźnika typu `constant` na stałą typu `integer`:

```
const int * const cpci = &limit;
```

Wskaźnik typu `constant` wskazujący stałą został przedstawiony na rysunku 1.14.




*Rysunek 1.14. Wskaźnik typu constant wskazujący na stałą*

Stosując wskaźniki na stałe, nie musisz przypisywać adresu stałej do `cpci`. Możliwe jest za to `num`, co pokazano poniżej:

```
int num;
const int * const cpci = &num;
```

Po zadeklarowaniu wskaźnika musisz go zainicjować. Jeżeli tego nie zrobisz, kompilator wyświetli komunikat informujący o błędzie składni, co pokazuje poniższy przykład:

```
const int * const cpci;
```

Komunikat błędu poinformuje Cię, że musisz zainicjować wskaźnik:

```
'cpci' : const object must be initialized if not extern
```

Stosując omawiane wskaźniki, nie możesz:

- modyfikować wskaźnika,
- modyfikować danych wskazywanych przez wskaźnik.

Próba przypisania `cpci` nowego adresu będzie skutkowała wyświetleniem komunikatu o błędzie składni:

```
cpci = &num;
```

Następujący komunikat błędu poinformuje Cię, że nie możesz przypisywać do zmiennej typu `const`:

```
'cpci' : you cannot assign to a variable that is const
```

Błąd składni powstanie również, jeżeli spróbujesz wyłuskać wskaźnik w celu przypisania nowej wartości:

```
*cpci = 25;
```



Kup ksi k Pole ksi k

Wyświetlony komunikat błędu poinformuje Cię, że nie możesz przypisać wartości do stałej. Wyrażenie musi być modyfikowalną wartością lewostronną. Komunikat będzie mieć treść:

```
'cpci' : you cannot assign to a variable that is const
expression must be a modifiable lvalue
```

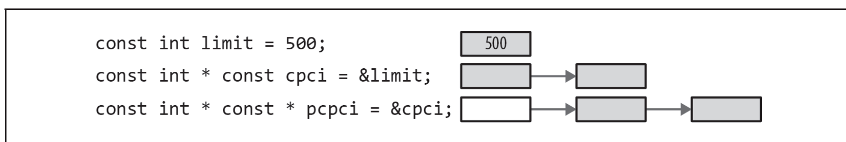
Rzadko stosuje się wskaźniki typu `constant` do wskazywania na stałe.

## Wskaźniki na (wskaźniki typu constant na stałe)

Wskaźniki na stałą mogą być także stosowane do wielopoziomowego adresowania pośredniego. W poniższym przykładzie przypisujemy wskaźnik do opisanego wcześniej wskaźnika `cpci`. Czytanie złożonych deklaracji „od prawej do lewej” ułatwia zrozumienie ich treści.

```
const int * const cpci = &limit;
const int * const * pcpci;
```

Rysunek 1.15 przedstawia schemat wskaźnika na wskaźnik na stałą.




*Rysunek 1.15. Wskaźnik na stałą będącą wskaźnikiem na stałą*

Poniższy przykład ilustruje zastosowanie takich wskaźników. W wyniku działania poniższego kodu liczba 500 powinna zostać wyświetlona dwukrotnie.

```
printf("%d\n",*cpci);
pcpci = &cpci;
printf("%d\n",**pcpci);
```

Poniższa tabela podsumowuje wiadomości na temat opisanych czterech typów wskaźników.

*Tabela 1.6. Typy wskaźników*

| Typ wskaźnika | Czy wskaźnik jest modyfikowalny? | Czy wskazywane dane są modyfikowalne? |
|---|---|---|
| wskaźnik na obiekt niebędący stałą | tak | tak |
| wskaźnik na stałą | tak | nie |
| wskaźnik będący stałą na obiekt niebędący stałą | nie | tak |
| stała będąca wskaźnikiem na stałą | nie | nie |



Kup ksi k    Pole ksi k

# Podsumowanie

Omówiliśmy podstawowe wiadomości dotyczące wskaźników, takie jak deklarowanie wskaźników i ich stosowanie w typowych sytuacjach. Wyjaśniliśmy także pojęcie znaku `null` i jego różne warianty. Przyjrzeliśmy się też wielu operatorom wskaźników.

Dowiedziałeś się, że wskaźniki mogą mieć różne rozmiary, w zależności od modelu pamięci obsługiwanego przez docelowy system i kompilator. Dowiedziałeś się także, jak ze wskaźnikami można stosować słowo klucz `const`.

Po opanowaniu tych podstaw jesteś przygotowany na odkrywanie kolejnych obszarów, w których przydaje się stosowanie wskaźników. W kolejnych rozdziałach opiszemy przekazywanie wskaźników do funkcji, obsługę struktur danych, a także dowiesz się, jak stosować wskaźniki do obsługi dynamicznej alokacji pamięci. Ponadto przeczytasz, jak zabezpieczać aplikację za pomocą wskaźników.



Kup ksi k Pole ksi k

# Skorowidz

## A

adres
buforu, 115
elementu tablicy, 121, 126
literału
zwracanie, 158
literału łańcuchowego
nieprawidłowe
przypisanie, 142
kopiowanie do
wskaźnika, 143
łańcucha
przypisanie, 147
zwracanie, 158
niepoprawny, 21
operator, 23
pamięci, 22
adresowanej
dynamicznie, 160
utrata, 56
powrotny, 81, 82
specjalnego
przeznaczenia, 217
tablicy, 110
vector, 92
wirtualny, 26
wskaźnika, 21
wyświetlanie, 25
zerowy, 24, 218
zmiennej, 24
num, 23
adresowanie
pamięci graficznej, 218
pośrednie drugiego
poziomu, 121
zerowej lokacji pamięci,
217
algorytmy wzajemnego
wykluczenia, 227
aliasing, 69
wskaźników, 221
alokacja
ciągła, 128
łańcuchów, 144
nieciągła, 129
sposób, 129
stron aplikacji, 26
tablicy, 106, 107
zmiennych struktury, 237
alokacja pamięci
a czyszczenie pamięci, 22
argumenty argc i argv,
158
dla funkcji
getLine, 116
stringLength, 154
dla łańcucha, 64, 138
znaków, 55
dla obiektu typu integer,
53
dla zmiennych
automatycznych, 51
dynamicznej, 58
na ramce stosu funkcji, 66
nadzorowanie, 55
niepowodzenie, 60
niewłaściwe indeksy
tablicowe, 202
o ciągłym obszarze, 129
o potencjalnie
nieciągłym obszarze,
129
określenie ilości, 61
polimorfizm i
dziedziczenie, 237
porządek bajtów, 221
pula literałów
łańcuchowych, 140
rzutowanie zmiennej
typu integer, 216
struktura person, 171
zainicjalizowana, 172
struktury, 169, 240
tablica, 90
dwuwymiarowa, 123,
132
na element typu char,
66
postrzępiona, 134
trójwymiarowa, 128
uzyskiwanie dostępu
do portu, 220
vector, 39
wskaźniki
dzikie, 198
globalne i statyczne, 32
na person, 173
niedopasowane typy,
204
wycieki pamięci, 93
zwracanie łańcucha
alokowanego
dynamicznie, 161
alokator
Hoard, 75
ogólnego przeznaczenia,
75
analiza statyczna
narzędzia, 212
anulowanie dereferencji, 111
aplikacja
kontrola procesu
wykonywania, 209
nieprawidłowe
zakończenie, 70



Kup ksi k    Pole ksi k

aplikacja
nieprzewidywalne zachowanie, 195
przekazywanie parametrów, 157
przeniesienia kontroli w kodzie, 200
rozmiar wskaźnika, 32
architektura harwardzka, 35
argument
ujemny, 58
przekazywanie do aplikacji, 157
rozmiar łańcucha, 203
arytmetyka wskaźnikowa, 37
i struktury, 207
typ danych, 34
ASCII
znak NUL, 28
ASLR, 196
ataki
denial of service, 211
format string attack, 207
nadpisanie adresu wskaźnika na funkcję, 210
nadpisywanie złośliwym kodem, 196
naruszenie ochrony pamięci, 200
return-to-libc, 196

## B

big-endian, 216, 220
binarne drzewo poszukiwań, 190
blok
finally, 77
try, 77
instrukcji w języku C, 83
błąd
inicjalizacji, 144
kompilacji
modyfikacja łańcucha, 140
składni
dereferencja pci, 46
dodawanie, 40
inicjacja wskaźnika, 48
konwersja, 24, 36
kopiowanie łańcuchów, 152
niedopasowanie parametrów, 87
porównanie łańcuchów, 147
przekazanie ardesu literału całkowitego, 87
przypisanie cpci nowego adresu, 48
przypisanie nowej wartości, 48
błędne odwołanie do pamięci, 60
Boehm-Weiser Collector, 76
Bounded Model Checking, 205
brak wartości, 28
bufor, 75, 114
kopiowanie łańcuchów, 150
przekazywanie, 155
przepełnienie, 199
czynniki, 200
informacja o błędzie, 206
wewnątrz przestrzeni adresowej, 200
rozmiar, 115
przekroczenie, 116

## C

CBMC, 205
CERT, 195
CERT Secure Coding, 20
cpci, 48
cpi, 47
czyszczenie danych wrażliwych, 211

## D

dane
bezużyteczne, 22
little-endian, 204
modyfikowalne, 84
o rozmiarze bloku, 54
obudowywanie, 233
przekazywanie
przez wartość, 85
wskaźniki, 84
struktura, 54
o zmiennej liczbie elementów, 52
typu
char, 39
integer, 32
long, 32
short, 39
wrażliwe, 211
zapisywanie na porcie, 219
dealokacja
pamięci, 66
automatyczna, 76
inicjowanie przy pozyskaniu zasobu, 76
procedura obsługi wyjątków, 77
wartości wskaźnika, 20
definicje
makr, 197
typów, 197
typu struktury, 168
deklaracja
pmatrix, 123
size_t, 34
deklarowanie
rozmiaru obiektu, 33
struktury, 233
wskaźników, 20
na funkcję, 27, 79, 96
nazwa definicji typu, 98
zmiennych, 197
DEP, 196
dereferencja, 26
DMA, 220



Kup ksi k
Pole ksi k

dmalloc, 75
dostęp
do adresu
specjalnego
przeznaczenia, 217
zerowego, 218
do obiektu odniesienia, 84
do pamięci
bezpośredni, 220
DMA, 220
poza granicami
tablicy, 202
ulotnej, 220
zwolnionej, 54
do portu, 219
do wewnętrznej
struktury danych, 237
drzewo, 176, 190
binarne, 176, 190
korzeń, 190, 191
logiczna organizacja, 192
metody przeglądania, 194
obsługa wyrażeń
arytmetycznych, 194
posortowana liczba
elementów, 194
przeglądanie, 192
puste, 191
TreeNode, 192
węzły
dodawanie, 190
zarządzanie elementami,
190
dynamiczna alokacja
pamięci, 19, 52
dla tablicy, 106
funkcje, 57
kroki, 52
łańcuchy, 142
sterta, 81
tablicy dwuwymiarowej,
128
techniki, 75
dyrektywa
define, 34
dziedziczenie, 237
struktury, 237

## E

element
head, 177
names, 19
tail, 177
typu integer, 20

## F

FILO, 188
format string attack, 207
funkcja
a ramka stosu, 81
a stos programu, 79
add, 99
addHead, 179, 180
zastosowanie, 180,
181
addNode, 234
addTail, 179, 181
alloca, 66
allocateArray, 89
puste wskaźniki, 91
alokująca, 17
assert
inicjalizacja
wskaźników, 198
umiejscowienie, 199
blanks, 160
calloc, 58
stosowanie, 62
cfree, 63
compare, 163, 182
compareIgnoreCase, 163
compute, 99
deallocatePerson, 173, 175
delete, 179, 182
dequeue, 186
displayLinkedList, 179,
184
DMA, 220
dotProduct, 229
evaluate, 100
evaluateArray, 101
factorial, 231
format, 156
fptrDisplay, 238
fptrSet, 238
free, 19, 52, 58, 66
dublowanie, 211
narzut pamięci po
strukturach, 174
podwójne
uwalnianie, 69
stan programu, 72
tworzenie własnej, 93
wywoływanie, 54
zastąpienie, 74
getArea, 242
getLinkedListInstance,
234
getNode, 179, 182
getPerson, 174
getRectangleInstance, 240
gets
przepełenienie
buforu, 206
getShapeInstance, 239
getSystemStatus, 209
initializeList, 179
kolejki, 185
zastosowanie, 180
initializePerson, 173
initializeQueue, 185
initializeStack, 188
insertNode, 190
drzewo, 192
konsekwencje, 10
main, 43, 53, 157
malloc, 10, 17, 33, 52, 58
alokacja pamięci
ciągłej, 130
alokacja pamięci
zwracanej, 88
maksymalny rozmiar
pamięci, 61
narzut pamięci po
strukturach, 174
określanie długości
łańcucha, 143
przekazywanie
wskaźnika do
wskaźnika, 93
stosowanie, 58



Kup ksi k Pole ksi k

funkcja
malloc
stosowanie złego rozmiaru, 61
tworzenie tablic jednowymiarowych, 113
unikanie narzutu struktur, 174
wskaźniki globalne i statyczne, 62
wykrywanie wartości zerowej, 200
malloca, 66
memset, 63, 218
notacja wskaźnikowa, 119
obliczanie silni, 231
obsługa list powiązanych, 179
porównująca, 177
printf, 19, 25, 82
przepełnienie buforu, 200, 206
przypisanie do wskaźnika na funkcję, 210
realloc, 58
działanie, 64
obsługa tablic, 107
pamięć zajmowana przez wskaźnik, 117
przetrzymywanie pamięci, 116
przykład działania, 117
stosowanie, 63
zmiana rozmiaru tablicy, 114
rekursywna, 193
removeLinkedListInstance, 234
removeNode, 234, 235
replace, 203
returnPerson, 175
saferFree, 94
scanf_s, 206
select, 99
Sleep, 232
snprintf, 156
sort, 163
specyfikatora, 25
sprawdzająca poprawność wskaźnika, 205
sptrGet, 238
square, 97
przypisanie adresu do wskaźnika, 97
umiejscowienie, 98
srtlcat, 206
startThread, 232
strcat
łączenie łańcuchów, 149
strcat_s, 206
strcmp
porównywanie łańcuchów, 145
strcpy, 141
kopiowanie łańcuchów, 147
przepełnienie buforu, 203
strcpy_s, 206
stringToLower, 163
strlcpy, 206
strlen, 33, 143
strncat
błędy, 206
strncpy
błędy, 206
substracy, 99
subtract, 99
swap, 84
stos programu, 85
trim, 117
uwaniania listy powiązanej, 235
wielowątkowa, 228
wscanf_s, 206
wyświetlanie zawartości tablicy trójwymiarowej, 127
z zewnętrzną implementacją struktury danych, 233
zamień, 84
zarządzanie pamięcią dynamiczną, 57
zwracanie
łańcucha, 159
łańcucha, 159
wskaźnika, 84, 97
zwrotna, 220

## G

GCC
modyfikacja literału łańcucha, 140
opcje strict aliasing, 222

## H

head, 177
homogeniczność elementów, 106

## I

iloczyn skalarny, 228
implementacja
kolejek i stosów, 176
wskaźnika, 22
indeks, 106
nieprawidłowy, 107
podwójny, 127
pojedynczy, 107
znakowy, 100
indeksowanie tablic
typ danych, 34
inicjowanie
przy pozyskaniu zasobu, 76
instrukcja
blokowa
problemy, 73
printf, 41, 126
pusta, 28
Intel MCS-51, 35
interpretowanie deklaracji, 22



Kup książkę Poleć książkę

## J


język C
  łańcuch, 28
  struktura, 10
  zabezpieczenia aplikacji, 195
język C++
  alokacja i dealokacja zasobów, 76


## K


kod
  błędu POSIX, 63
  korzystanie z przykładów, 14
kolejki, 19, 52, 176, 185
  dodanie elementu, 185
  FIFO, 185
  implementacja, 185
  instrukcja definiująca typ, 185
  jednoelementowa, 186
  oparta na liście powiązanej, 185
  operacja
    odłączania, 185
    dołączania, 185
  pusta, 186
  uwalnianie węzła, 187
  wieloelementowa, 186
kolejność rzędowo-kolumnowa, 123
kolumny, 106
kompilator GCC, 75
komunikat
  0x0, 93
kontrola
  toku wykonywania programu, 79
konwencje typograficzne, 13
konwersja
  typów wskaźników, 223
  wskaźników, 36, 102
korzeń, 190


## L


  libc, 196
liczba
  zmiennoprzecinkowa, 224
liczniki pętli
  typ danych, 34
lista
  alokowanych struktur, 174
  inicjalizująca, 132
  powiązana, 18, 19, 52, 176
    alokacja pamięci dla nowego elementu, 181
    alokacja pamięci dla węzła, 180
    cykliczna, 178
    dwukierunkowa, 178
    identyfikacja elementu, 182
    implementacja, 234
    inicjalizacja, 179, 180
    jednostronna, 177
    kasowanie elementów, 182
    nowy węzeł, 181
    porównywanie, 182
    przeglądanie, 184
    reprezentacja za pomocą tablicy, 18
    reprezentacja za pomocą wskaźników, 19
    schemat budowy, 178
    stos i sterta, 184
    struktura obsługi, 179
    struktura Node, 179
    usunięcia węzła, 188
    utrzymanie integralności, 186
    uwolnienie, 236
    wprowadzanie danych do elementów, 179
    wskaźniki nieprzeźroczyste, 233
    zwalnianie elementów, 189
  struktur
    alokowanie pamięci, 175
liście, 190
literał
  łańcuchowy, 139
    łączenie łańcuchów, 152
    niebędący stałą, 140
  przechowywanie w pamięci, 139
  statyczny, 159
  złożony, 132
    tablica postrzępiona, 134
  znakowy, 139
    modyfikacja, 140
little-endian, 216, 220
losowy rozkład przestrzeni adresowej, 196
lvalue, 27, 112


## Ł


łańcuchy, 138
  alokacja, 137
  alokowane
    na stercie, 144
    w pamięci globalnej, 144
  bajtów, 138
  deklaracja, 139
  informacje o podzespołach, 155
  inicjalizacja, 141, 143
    standardowe wejście, 144
  jako wskaźniki na stałe typu char, 146
  kopiowanie, 147, 151
  lokalizacja, 144
  łączenie, 149
    łańcuchy źródłowe, 152
    popełaniane błędy, 152




Kup ksi k Pole ksi k

łańcuchy
    porównywanie, 145, 163
    przechowywanie, 138
    przekazywanie, 137, 153
        proste, 153
    puste, 28
    sortowanie w kolejności
        alfabetycznej, 146
    standardowe operacje,
        145
    statyczne, 144
    szerokich znaków, 138
    umiejscowienie funkcji,
        138
    umieszczanie w pulach
        wyłączenie, 140
    w języku C, 137
    zabezpieczenie przed
        modyfikacją, 137
    zapisywanie w tablicy,
        147
    zwracanie, 137, 158


## M


macierz, 106
magazyn
    danych lokalnych, 81
    parametrów, 81
makro
    NULL, 28
    RAII_VARIABLE, 76
        kod, 77
makroinstrukcja
    safeFree, 94
malloc, 75
mapowanie
    adresów wirtualnych na
        rzeczywiste, 26
    pamięci
        notacja tablicy
            dwuwymiarowej,
            131
menedżer sterty, 54
    dodatkowa pamięć, 55
    funkcja
        free, 70
        realloc, 65
    nadzorowanie alokacji
        pamięci, 55
    podwójne uwalnianie, 69
    źródło pamięci, 75
metoda
    inorder, 193
    postorder, 193
    preorder, 193
    staticFormat, 160
model konceptualny
    stosu i sterty, 80
modele
    danych, 32
    pamięci, 10, 32
muteksy, 227
    kod inicjalizujący, 230
    ochrona zmiennej, 229
    zablokowanie, 229


## N


naruszenie ochrony
    pamięci, 71, 200
nazwa
    tablicy, 39
    struktur, 168
nieautoryzowany dostęp,
    200
niepoprawny adres, 21
nieużytek, 76
notacja
    kropkowa, 168
    tablicowa, 105, 109, 111
        przekazywanie
            tablicy
            wielowymiarowej,
            125
        stosowanie, 118
        tablica wskaźników,
            120
        wewnątrz funkcji, 119
    tablicy dwuwymiarowej,
        124
    vector, 112
    wskaźnikowa, 105, 109,
        111
        dostęp do elementu
            tablicy, 124
        i tablice, 109
        przekazywanie
            tablicy
            wielowymiarowej,
            125
        stosowanie, 119
        tablica wskaźników,
            121
NUL
    a NULL, 138


## O


obiekt
    alokowanie w pamięci, 17
    person, 168
    replacemen, 203
    typu integer, 20
    wartość lewostronna, 112
obsługa
    struktur danych, 176
    tablic o zmiennej
        długości, 52
    wątków, 228
    wyjątków, 77
    wywołań zwrotnych, 231
odczytywanie deklaracji, 23
odejmowanie wskaźników,
    41
odmowa usługi, 211
odzyskiwanie pamięci, 70
opaque pointer, 215, 233
opcja
    fno-strict-aliasing, 222
    fstrict-aliasing, 222
    Wall, 212
    Wstrict-aliasing, 222
opcode, 99
OpenBSD, 75
operacje
    dodawanie liczby
        całkowitej, 38
    odejmowanie liczby
        całkowitej, 40
    przypisania, 29
operator
    adresowania, 110
        pośredniego, 26
    adresu, 23





Kup ksi k    Pole ksi k

dereferencji, 27
błędy podczas
stosowania, 54
priorytet, 114
indeksu, 43
nierówności, 101
porównania, 42, 102
łańcuchów, 147
równości, 101
rzutowania
określanie porządku
bajtów, 220
sizeof, 31, 33, 53, 66
ilość bajtów do
alokacji, 61
niewłaściwe
stosowanie, 203
określenie liczby
elementów tablicy,
119
stosowanie ze
wskaźnikami, 35
tablica a wskaźnik, 112
używanie, 236
z tablicą, 107
wskazujący, 168
wyłuskiwania
do odejmowania
dwóch liczb, 42
niewłaściwe
stosowanie, 201
operatory wskaźników, 37
optymalizacja kodu, 226
organizacja pamięci, 15

## P

pamięć
alokowana
dla wskaźnika, 63
na stercie, 16
automatyczna, 16
dynamiczna, 16
globalna, 16
modele, 32
niezainicjowana, 21
organizacja przestrzeni
danych, 196
poza granicami tablicy
problemy, 202
przydzielenie
operator dereferencji,
27
przyporządkowanie, 23
pula literałów, 139
ramka stosu, 81
ręczne sterowanie, 76
sprzątanie, 76
statyczna, 16
systemowa, 70
tablica, 113
wirtualna, 26
wypełnianie
zerami, 63
zarządzanie, 51
zerowanie, 218
parametr
argc, 43, 157
argv, 43, 157
elementSize, 62
numElements, 62
przekazywanie, 84
pci, 45
jako wskaźnik na stałą
typu integer, 46
pętla while, 115
zmienna tmp, 117
podtablica, 122
podwójne uwalnianie, 68
problemy, 211
podwójne wskaźniki, 43
pole
data, 180
length, 228
next, 18, 180
subCode, 159
sum, 228
polecenie
malloc
zwracanie wskaźnika,
88
return, 88
polimorfizm, 237
porównywanie
elementów tablicy
funkcja sortowania, 162
wskaźników, 42
port, 219
sprzętowy, 219
Portable Operating System
Interface, 228
porządek bajtów maszyny,
216
określanie, 220
POSIX, 228
potomkowie, 190
problemy
aplikacji
wielowątkowych, 227
arytmetyka
wskaźnikowa, 207
dealokacja pamięci, 211
łańcuchy, 206
stosowanie wskaźników,
199
użycie
niezainicjalizowanego
wskaźnika, 198
wskaźniki na funkcję, 209
programowanie, 10
inicjowanie wskaźnika, 24
prototyp funkcji, 96
przechowywanie
adresów wskaźnika, 36
odniesień, 30
przedwczesne uwolnienie, 71
przekazywanie
argumentów do
aplikacji, 157
funkcji sterującej
porównaniem, 163
łańcuchów, 153
obiektu do funkcji, 88
poprzez wartość, 86
tablicy
jednowymiarowej, 118
mniejszy rozmiar, 119
wielowymiarowej, 125
wskaźnika, 94
do argumentu, 84
do funkcji, 79, 84, 91
do obiektu, 84
do stałej, 86
do tablicy liczb
całkowitych, 91



Kup ksi k
Pole ksi k

przekazywanie
wskaźnika
do wskaźnika, 91
list powiązanych, 234
na funkcję, 99
na łańcuch, 155
pustego, 91
wymagającego
inicjalizacji, 155
znaku NULL jako
adresu buforu, 156
przepełnienie stosu, 83
przestrzeń
większa od alokowanej,
65
przetwarzanie potokowe, 95
przewidywanie
rozgałęzień, 95
przypisywanie
wartości zerowej, 29
za pomocą rzutowania, 36
przyporządkowanie
pamięci, 23
pula literałów
łańcuchowych, 139
pule struktur, 174

## Q

Queue, 185

## R

RAII, 76
ramka, 26
ramka stosu, 10, 31, 79, 80
nadpisywanie, 152
odkładanie parametrów,
82
organizacja, 81
realokacja pamięci, 63
dodatkowej, 65
rekordy aktywacji, 80
reprezentacja
liczb
zmiennoprzecinkowych,
224
Resource Acquisition Is
Initialization, 76
rodzaje wskaźników, 32
rozmiar
bloku pamięci, 61
obiektu, 33
wskaźnika, 32
rzędy, 106
rzutowanie
adresu typu integer, 221
jawne, 59
wskaźnika, 216
na funkcje, 102
na void, 31
zmiennej typu integer, 216

## S

schemat pamięci, 21
sekwencja porządkująca, 108
słowo kluczowe
const, 44, 46
restrict, 221, 226
stosowanie, 227
struct, 168
typedef, 168
volatile, 219
sortowanie bąbelkowe, 163
specyfikator
%d, 35
%lu, 34
%o, 25
%p, 25
%u, 34
%x, 25
%zu, 34, 35
specyfikatory pola, 25
sprzątanie pamięci, 76
stała
będąca wskaźnikiem na
stałą, 49
limit, 87
wskaźnika pustego, 28
znakowa, 138
standard C99
obsługa tablic o zmiennej
długości, 114
status systemu, 209
sterta, 9, 31, 70, 80
do dołu, 81
fragmentacja, 81
przechowywanie
niepotrzebnych
obiektów, 57
rozmiar, 70
stos, 9, 79, 80, 176
definiowanie jako listy
powiązanej, 188
do góry, 81
lista powiązana, 188
odkładanie danych, 188
przepełnienie, 83
struktura danych, 188
ściąganie danych, 188
zarządzanie, 81
zwracanie adresu
łańcucha lokalnego,
162
strict aliasing, 222, 225
stosowanie ograniczeń,
225
wyłączanie, 222
strona aplikacji, 26
struktura, 167
_linkedList, 234
_person, 168, 171
alokowanie w pamięci,
169
AlternatePerson, 170
danych
implementacja, 176
Product, 228
rodzaje, 176
VectorInfo, 228
wskaźniki, 176
dealokacja, 170
deklarowanie, 168
derywowane, 239
dostęp do pól, 168
employee, 176
FactorialData, 231
item, 208
LinkedList, 179
Node, 179
Person, 170, 236
pochodne, 242



Kup ksi k
Pole ksi k

Rectangle, 237
Shape, 237
tworzenie
egzemplarzy, 239
unikanie narzutu, 174
vFunction, 238
symbol
\0, 138
0, 28
gwiazdki, 21, 30
NULL, 28
system
operacyjny
obsługa pamięci, 70
zabezpieczenia, 196
typów, 223
wykonawczy, 51
zaalokowanie pamięci
dla struktury, 170
zarządzanie stosem
programu, 82


## T


tablica, 105, 106
a lista powiązana, 177
a wskaźnik
różnice, 112
alokacja nieciągła, 128
alokowana na stercie, 113
alokowanie pamięci, 62, 90
AlternatePerson, 170
bestBooks, 43
deklaracja, 106
dwuwymiarowa, 106, 108
a tablica
wskaźników, 106
alokacja o ciągłym
obszarze, 129
alokacja o nieciągłym
obszarze, 129
deklaracja, 108
dostęp do tablicy, 108
dynamiczna alokacja
pamięci, 128
graficzna
interpretacja, 124
identyfikacja
elementu, 108
mapowanie, 108
elementów typu char, 138
inicjalizacja, 141
header, 139
i struktury, 167
indeksy i wskaźniki, 110
inicjowanie blokiem
wartości, 100
jednowymiarowa, 107
nazwa, 107
określanie liczby
elementów, 107
przekazywanie, 118
wewnętrzna
reprezentacja, 107
kolejność elementów, 42
liczb całkowitych
alokacja pamięci, 88
matrix, 123
przekazywanie, 125
metod wirtualnych, 238
name, 148
nazwa, 105
użycie, 110
o zmiennym rozmiarze,
19, 66, 106
obsługa, 63
ograniczenie, 114
rozmiar, 66
operowanie, 131
postrzępiona, 131
deklaracja, 133
dostęp do elementów,
133, 134
inicjowanie
elementów, 133
sprawdzenie
poprawności, 133
tworzenie, 122
przekazywanie
rozmiaru, 106
pusta, 100
rozmiar, 107
błędne obliczenie, 203
sposób alokacji, 128
statyczna, 90
titles, 43
tworzenie, 105
vector
indeksy, 107
wewnątrz funkcji
deklarowanie, 118
wielowymiarowa, 109
przekazywanie, 125
wskaźniki, 122
wirtualna, 238
Vtable, 201
wskaźników
alokacja pamięci, 121
jednowymiarowa, 120
na funkcję, 100, 201
wyrażeń
wskaźnikowych, 122
zachowanie granic, 203
znaków
a łańcuchy, 138
tail, 177
TCMalloc, 75
techniki obiektowe, 233
treści
abstrakcyjne, 13
komend, 13
typ
danych, 223
i rozmiary, 38
unsigned char, 176
w języku C, 33
wchar_t, 138
definicji
fptrOperator, 101
float, 223
int, 138
intptr_t, 33, 36
ptrdiff_t, 33, 42
size_t, 31, 33, 58
uintptr_t, 33, 36
unsigned integer, 223
wskaźników, 49
type punning, 223
typedef, 100




Kup ksi k Pole ksi k

## U

ubijanie typu, 223
uchwyt, 217
ułożenie wskaźników
  globalnych i statycznych, 31
unia
  konwersja typu
    zmiennej, 223
  reprezentacja wartości, 223
unieważnienie wskaźnika, 68
usuwanie nieużytków, 76
utożsamianie, 148
  nazw, 69
utrata adresu, 56
  pamięci alokowanej
    dynamicznie, 57
uwolnienie pamięci
  nadpisanie danych, 74

## V

Virtual Table, 201
VLA, 66
volatile, 220

## W

wartości
  bez znaku, 34
  binarne, 55
  ENOMEM, 63
  lewostronne, 27, 112
  null, 27
  NULL, 30
    przypisywanie do
      wskaźnika, 68
    wiszące wskaźniki, 74
    zwalniany wskaźnik, 54
  typu unsigned, 34
  ujemne, 34
  wskaźników, 24
  zerowa
    wykrywanie, 200
  zwracane przez funkcję
    problemy, 210
wątek
  alokowanie stosu
    programu, 83
  i wskaźniki, 227
  suma wektorów, 229
  tworzenie, 230, 232
  współdzielenie danych, 227
wczytanie ciągu
  łańcuchów, 147
wektor, 106
  sumowanie, 228
wersja testowa
  wycieki pamięci, 74
węzeł, 19
  dziecko, 190
  rodzic, 190
  terminalny, 190
wielopoziomowe
  adresowanie pośrednie, 43, 49
wiersz, 109
wirtualny system
  operacyjny, 26
wskaźniki, 15
  a zmienne typu integer, 24
  aliasing, 221
    unikanie problemów, 222
  argumenty wyrażenia
    logicznego, 29
  bazowe, 81, 103
  będące stałą
    na obiekt niebędący
      stałą, 49
  bliskie, 37
  buffer, 116
  dalekie, 37
  dane wymagające
    modyfikacji, 84
  deklarowanie, 20, 22
    niewłaściwe, 197
  dereferencji, 21
  do danych lokalnych, 89
  do obsługi struktur
    danych, 176
  do realokowanej
    pamięci, 63
  do struktury, 32
  do wskaźnika, 44
    do int, 92
    zastosowanie, 94
  do znaku, 32
  dodawanie liczby
    całkowitej, 38
  dzikie, 198
  errno, 64
  foo, 27, 96
  fptrBase, 102
  globalne, 31
  i łańcuchy, 137
  i pamięć, 16
  i stałe, 44, 87
  i struktury, 167
  i tablice, 105
    różnice, 112
    wielowymiarowe, 122
    zastosowanie, 109
  implementacja struktur
    danych, 18
  inicjalizacja
    niepowodzenia, 198, 213
    zewnętrzne
      narzędzia, 199
    znak NULL, 198
  int, 30
  kopiowanie, 149
  liczb, 224
  logika działania, 18
  na char, 39, 43
  na dane, 31, 32
    operacje
      arytmetyczne, 37
  na elementy tablicy
    porównywanie, 42
  na funkcje, 27, 32, 44, 79, 95
    bazowe, 102
    COMPARE, 177, 190
    deklarowanie, 96




Kup ksi k    Pole ksi k

DISPLAY, 177
działanie programu, 95
i łańcuchy, 162
lista argumentów, 103
obsługa wywołań
zwrotnych, 231
porównywanie, 101
prefiks fptr, 96
przekazywanie, 99
rozmiary, 35
rzutowanie, 102
tablice, 100
zastosowanie, 97, 182
zwracanie, 99
na niezainicjowaną
pamięć, 21
na notację wskaźnikową,
122
na obiekt niebędący
stałą, 49
na obiekt typu char, 17,
137, 223
inicjalizowanie, 142
rozmiar, 35
zapis, 139
na obiekt typu integer, 24
rzutowanie, 36
na short, 39
na siebie, 39
na stałą, 44, 49
będącą wskaźnikiem
na stałą, 49
typu char, 155
typu integer, 45
na tablice
deklaracja, 123
na void, 25, 30
dodawanie, 40
niekompatybilne, 213
nieprzeźroczyste, 215, 233
odbudowywanie
danych, 233
stosowanie, 233
tworzenie, 233
niewłaściwe
przyporządkowanie,
208
niezainicjowane, 29
rozwiązywanie
problemów, 198
odejmowanie, 41
liczby całkowitej, 40
ograniczone, 205
określenie typu, 17, 22
operatory, 37
sizeof, 35
pamięć wirtualna, 26
pc, 40
pi, 22
podwójne, 43
poprawność użycia, 96
porównywanie, 42, 146
predefiniowane typy
danych, 33
problemy, 19
deklaracja
i inicjalizacja, 197
dopasowanie typów,
204
sprawdzanie granic,
203
przechowywanie, 34
adresów, 36
przekazywanie, 84
danych, 84
do stałej, 86
przypisanie
wartości null, 28
wartości zerowej, 29
ps, 40
puste, 28
dereferencja, 29
zastosowanie, 28
pv
tablice, 110
ramki, 82
rodzaje, 32
root, 191
rozmiary, 32, 35
rysowanie schematów, 23
rzutowane, 216
składnia i semantyka, 20
sprytne, 206
statyczne, 31
stosu, 81, 82
bazowe, 82
tożsame, 73, 221
ostrzeżenia
kompilatorów, 223
typu constant, 46
na obiekt niebędący
stałą, 46
stosowane do stałych,
48
uruchomienie
programu, 31
uzyskanie dostępu
do portu, 219
w funkcjach, 79
w implementacji operacji
dodawania skalarów,
112
w języku C, 9
w pamięci podręcznej,
226
wiszące, 67, 71, 72
problemy, 71, 201
wskazujące
to samo miejsce, 149,
222
ten sam obiekt, 225
współdzielenie przez
wątki, 228
wyłuskiwanie, 26
wymagające inicjalizacji,
155
wyświetlanie wartości,
24
zachowanie, 20
zapis, 19
znak spacji, 21
zarządzanie pamięcią, 15
zastosowanie, 17, 42
do obsługi drzewa,
190
do obsługi stosu, 188
niewłaściwe, 195, 212
obsługa kolejek, 185
zwracanie, 84, 87
współdzielenie danych, 228
wycieki pamięci, 55, 93
łańcuch alokowany
dynamicznie, 161



Kup ksi k Pole ksi k

wycieki pamięci
stosowanie wersji
testowej, 74
struktury, 172
ukryte, 57
uwalnianie węzłów, 235
wyczyszczenie pamięci, 62
wyłuskiwanie, 26
cpi, 47
uwolnionego wskaźnika, 68
wartości, 84
wskaźnika, 26
na stałą, 45
portu, 219
do wskaźnika do
liczby całkowitej, 92
wyrażenie
&vector, 110
matrix[0], 124
warunkowe
unikanie stosowania, 95
wskaźnikowe, 122
wyświetlanie wartości
wskaźników, 74
wywołanie zwrotne, 215, 231
wyzerowanie wskaźnika, 93


## Z


zabezpieczenia
aplikacji, 195
danych, 227
deklaracja i inicjalizacja
wskaźników, 197
łańcuchy, 206
narzędzia analizy
statycznej, 212
przepełnienie bufora, 199
stosowanie wskaźników, 196
wiszący wskaźnik, 201
zachowanie
polimorficzne, 233
wskaźnika, 20
nieokreślone, 20
niezdefiniowane, 20
określone miejscowo, 20
zdefiniowane przez
implementację, 20
zapis
poza końcem łańcucha, 206
poza obszarem tablicy, 203
w porządku little-endian, 220
wskaźników, 19
zapobieganie wykonywania
danych, 196
zarządzanie pamięcią, 51, 67
zastosowania wskaźników, 42
zawartość pamięci, 196
zdanie alokujące pamięć, 62
zero, 30
binarne, 29
zmienna
age, 176
alokowanie, 16, 51
arr
jako statyczna, 90
automatyczna, 80
będąca wskaźnikiem, 17
buffer, 115
character, 115
chunk, 56
command, 146
count, 148
currentPosition, 115
deklarowanie, 20
wewnątrz funkcji, 16
dyrektywy, 197
errno, 63
getLine, 115
globalna, 16
head, 18
lokalna
ramka stosu, 80, 82
length, 115
maximumLength, 115
name, 77
newBuffer, 116
nieulotna, 220
pv, 110
rzutowanie na wskaźnik, 24
sizeIncrement, 114, 115
statyczna, 16
a funkcja malloc, 62
tmp, 73
typu
integer, 169
short, 169
size_t, 34
vector
zwrócenie adresu, 110
zasięg i okres istnienia, 17
znak
NUL, 138
określenie końca
łańcucha, 118
NULL, 59
operacji, 99
zwolnienie pamięci, 67
bloku pamięci, 69
po zakończeniu
programu, 70
zalety, 70
zwracanie
adresu
literału, 158
łańcucha lokalnego, 161
pamięci adresowanej
dynamicznie, 160
łańcuchów, 158
wskaźnika, 87
do wskaźnika, 92
na funkcje, 99
problemy, 88
przez funkcję, 84





Kup ksi k    Pole ksi k

# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION

1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW
w działający bankomat!

**Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!**

http://program-partnerski.helion.pl

Programowanie

O'REILLY®

# Wskaźniki w języku C. Przewodnik

Jeśli chcesz błyskawicznie opanować programowanie w języku C, sięgnij po tę książkę! Gdy już poznasz podstawy, nauczysz się także korzystać ze wskaźników. To prawdziwa zmora wszystkich programistów, błędne wykorzystanie wskaźnika może bowiem w okamgnieniu zrujnować Twój program. Zobacz, jak tego uniknąć i zaprzyjaźnić się ze wskaźnikami.

Inne książki opisują wskaźniki w jednym lub dwu rozdziałach, natomiast my poświęciliśmy im całą książkę. Dzięki temu dogłębnie poznasz ten mechanizm, zrozumiesz go i przekonasz się, że przy odrobinie uwagi nie jest wcale taki straszny! W trakcie lektury wykorzystasz wskaźniki na funkcję, przygotujesz tablicę wskaźników oraz zobaczysz, jak współdziałają one z łańcuchami znaków. Twoją uwagę z pewnością zwrócą fragmenty omawiające zabezpieczenia oraz niewłaściwe wykorzystanie wskaźników. Książka ta jest jedyną pozycją na rynku w całości poświęconą wskaźnikom w języku C. To lektura obowiązkowa każdego programisty!

***Poznaj:***

- koncepcję wskaźników
- zastosowanie tablic wskaźników
- funkcje dynamicznego alokowania pamięci
- zagrożenia wynikające ze stosowania wskaźników

***Odkryj tajniki wskaźników w języku C i wykorzystaj ich potencjał!***


helion.pl
księgarnia internetowa

Helion

Sprawdź najnowsze promocje:
http://helion.pl/promocje
Książki najchętniej czytane:
http://helion.pl/bestsellery
Zamów informacje o nowościach:
http://helion.pl/nowosci

Nr katalogowy: 16986

Księgarnia internetowa:
http://helion.pl

Zamówienia telefoniczne:

0 801 339900

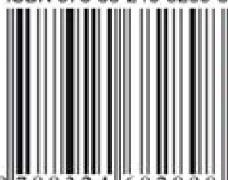
0 601 339900



Helion SA
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice
tel.: 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
http://helion.pl



ISBN 978-83-246-8289-8



Informatyka w najlepszym wydaniu