

Systemprogrammierung

Grundlage von Betriebssystemen

Teil B – VI.3 Betriebssystemkonzepte: Namen

Wolfgang Schröder-Preikschat

21. Juni 2018



Gliederung

Einführung
Semiotik
Informatik

Dynamische Namensauflösung
Virtuelle Adressen
Pfadnamen

Statische Namensauflösung
Übersetzer
Binder
Lader

Zusammenfassung



Agenda

Einführung
Semiotik
Informatik

Dynamische Namensauflösung
Virtuelle Adressen
Pfadnamen

Statische Namensauflösung
Übersetzer
Binder
Lader

Zusammenfassung



Lehrstoff

Definition (Name \mapsto www.duden.de)

Kennzeichnende Benennung eines Einzelwesens, Ortes oder Dinges, durch die es von anderen seiner Art unterschieden wird; Eigenname.

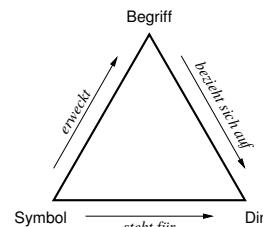
- Thema sind **Namen** zur relativ eindeutigen Bezeichnung von Dingen eines Rechensystems, die nach außen zugänglich sein müssen
 - allgemein Stellen im Haupt-, Arbeitsspeicher und in der Ablage
 - zu referenzierende Bezugspunkte von Programmtext und -daten
- relativ, da jeder dieser Namen nur innerhalb von einem bestimmten **Kontext** eine wohldefinierte und eindeutige Bedeutung hat
 - innerhalb eines (realen, logischen, virtuellen) Adressraum, Dateisystems
- in dem Zusammenhang werden grundlegende **Abbildungsfunktionen** behandelt, die Namen in **Adressen** umwandeln
 - Seitennummerierung, Segmentierung, seitennummelierte Segmentierung
 - Indexierung bei Dateisystemen: Indexknotentabelle, Verzeichnis, Dateien
- abgerundet durch Verfahren, die vor Programmlaufzeit greifen
 - Abbildungsfunktionen von Kompilierer, Assemblierer, Binder und Lader



Semiotisches Dreieck

Beziehung zwischen Benennung (*Bezeichnung*), Begriff (*Bedeutung*) und Gegenstand (*Bezeichnetes*).

- Benennung meint die Versprachlichung einer Vorstellung
 - ruft Begriffe ins Bewusstsein
 - bezeichnet einen Gegenstand, ein Ding
- Bezeichnung umfasst insbesondere auch nichtsprachliches wie:
 - **Symbole und Nummern**
- Bezeichnetes ist ein Objekt — nicht nur im informatischen Sinne
 - mit einem **Namen** versehen, benannt durch ein oder mehrere Wörter
- die Benennung ist sprachlich richtig und treffend auszulegen
 - möglichst genau und dabei knapp zugleich
 - am Sprachgebrauch orientieren
 - auf **Fachsprache** bezogen, nicht Flexibilität brauchende Gemeinsprache



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

1.1 Einführung – Semiotik

VI.3/5

Stufen von Namensauflösungen

- durch Kompilierer, Assemblierer und Binder (Ebene₅ \mapsto Ebene₃)
 - symbolische (Text, Daten) auf numerische Referenz
- durch Betriebssystem (Ebene₃ \mapsto Ebene₂)
 - numerische Referenz auf virtuelle, logische oder reale Adresse
 - insbesondere auch Prozesskennung (PID) auf Prozesskontrollblock
 - aber ebenso Dateizeiger (FILE*) auf Dateideskriptor
 - allgemein/abstrakt: eine Handhabe (*handle*) auf eine Systemressource
 - symbolische auf numerische Referenz
 - Pfadname (Verzeichnis, Datei) auf Indexknotennummer (*inode number*)
 - Internetadresse (URL) auf Netzwerkadresse (IP-Adresse)

Gemeinsamkeit: *Symbol \mapsto Nummer*

Dies trifft auch zu auf die Herleitung einer virtuellen, logischen oder realen Adresse aus einer numerischen Referenz. Denn letztere ist als Zwischenschritt zu begreifen, der Dinge eines symbolisch formulierten Programms eine numerische Identität gibt. Daher ist die Abbildung Ebene₅ \mapsto Ebene₂ ganzheitlich zu sehen:

- symbolische Referenz auf virtuelle, logische oder reale Adresse

Bezeichnung

... im Kontext Systemprogrammierung

```
1 #include <sys/socket.h>
2 #include <netinet/in.h>
3 #include <arpa/inet.h>
4
5 #include <netdb.h>
6 #include <stdlib.h>
7 #include <stdio.h>
8
9 int main(int argc, char **argv) {
10     if (argc == 2) {
11         struct hostent *host = gethostbyname(argv[1]);
12         if (host != NULL) {
13             unsigned int i = 0;
14             printf("%s = ", host->h_name);
15             while (host->h_addr_list[i] != NULL)
16                 printf("%s ", inet_ntoa(*(struct in_addr*)(host->h_addr_list[i++])));
17             printf("\n");
18         }
19     }
20 }
```

Dienstprogramm (*utility*) zum Nachschlagen einer Internetadresse

- darin werden verschiedene Dinge symbolisch bezeichnet
 - das Programm main samt Variablen argc, argv, host und i
 - sowie die Unterprogramme gethostbyname, printf und inet_ntoa
- hinzu kommen Bezeichnungen, die in der Hand der Umgebung liegen
 - der Dateiname host.c und Pfadname ./a.out bzw. ./host
 - sowie eine Internetadresse als Programmparameter argv[1]

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

1.2 Einführung – Informatik

VI.3/6

Gliederung

Einführung
Semiotik
Informatik

Dynamische Namensauflösung
Virtuelle Adressen
Pfadnamen

Statische Namensauflösung
Übersetzer
Binder
Lader

Zusammenfassung

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2. Dynamische Namensauflösung

VI.3/8

Definition ([1, S. 157–158])

- An address used by the programmer is called a “name” or a “virtual address,” and the set of such names is called the address space, or name space.
- An address used by the memory is called a “location” or “memory address,” and the set of such locations is called the memory space.
- Since the address space is regarded as a collection of potentially usable names for information items, there is no requirement that every virtual address “represent” or “contain” any information.

- die Deutung ist **kontextabhängig**, ebenso was die Adresse bezeichnet
 - derselbe Name in verschiedenen Namensräumen kann verschiedene Orte (nicht nur in einem Rechensystem) adressieren
 - derselbe Ort kann über verschiedene Namen adressiert werden

Organisation des Namensraums

- **Seitennummerierung (paging)** [4, S. 29–30]
 - jede Adresse wird interpretiert als Tupel $A_p = (p, o)$, wobei
 - Oktettnummer** $o = [0, 2^i - 1]$, mit $9 \leq i \leq 30$
 - Seitennummer** $p = [0, 2^{n-i} - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
 - übliche Einkomponentenadresse \sim **eindimensionaler Adressraum**
 - d.h., Oktette oder Worte in einer Dimension aufgereiht
- **Segmentierung (segmentation)**
 - jede Adresse ist repräsentiert als Paar $A_s = (s, a)$, wobei
 - Segmentname** $s = [0, 2^m - 1]$, mit $12 \leq m \leq 18$
 - Adresse** $a = [0, 2^n - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
 - Zweikomponentenadresse \sim **zweidimensionaler Adressraum**
 - d.h., Segmente in der ersten und Segmentinhalte in der zweiten Dimension
- Kombination:
 - **seitennummurierte Segmentierung (paged segmentation)**
 - jedes Segment ist seitennummuriert ausgelegt, d.h., a in A_s entspricht A_p
 - **segmentierte Seitenadressierung (segmented paging)**
 - jedes Segment ist bytenummieriert, jedoch auf Kacheln/Seitenrahmen abgebildet
 - die letzte Seite eines Segments kann unausgefüllt sein, nicht aber die Kachel



- Adressen, die **Speicherorte** bezeichnen, können realer, logischer oder virtueller Natur sein
 - **real**
 - muss exakt dort liegen, intern
 - **logisch**
 - kann woanders liegen, intern
 - **virtuell**
 - kann woanders liegen, intern oder extern
- als **interner Ort** ist ein Platz im Hauptspeicher gemeint, identifiziert durch eine Adresse im realen Adressraum
 - insbesondere die „anwesende Seite“ im Falle von Speichervirtualisierung
- demgegenüber drückt **externer Ort** aus, dass der Platz irgendwo im System aber eben nicht im Hauptspeicher liegt
 - in der Ablage oder im Hauptspeicher eines anderen Rechensystems
 - beide gegebenenfalls nur indirekt über ein Rechnernetz zugänglich
- dies schließt **speicherabgebildete (memory-mapped) Dinge** mit ein, also im logischen/virtuellen Adressraum platzierte Objekte
 - wie etwa Geräteregister, Bildspeicher oder Dateien
 - der Zugriff läuft dann über Lese-/Schreibaktionen der Befehlssatzebene



Namensabbildung bei Seitennummerierung

- die Abbildungsfunktion nutzt eine ein-/mehrstufige **Seitentabelle**:
 - p ist **Indexwert** für gültige Seiten im Bereich $[P_{lwb}, P_{upb}]$
 - sei $P = 2^{n-i}$ max. Seitenanzahl
 - dann gilt $0 \leq P_{lwb} < P_{upb} \leq P - 1$
 - ein möglicher **Indexfehler** muss erkannt werden
 - Tabelle auffüllen mit Einträgen, die Abbildungsfehler erzwingen
 - Grenzwertprüfung auf Basis eines *limit*-Registers ist unüblich
 - P hängt ab von Seitengröße 2^i und bestimmt die Stufenanzahl
- ein **Seitenfehler (page fault)** bedeutet damit verschiedenerlei:
 - gültig falls $P_{lwb} \leq p \leq P_{upb}$, dann ist p abwesend oder ungenutzt
 - eine ungenutzte Seite ist gültig, sie wurde nur noch nicht abgebildet
 - sonst ungültig: die betreffende Seite gehört nicht zum Prozessadressraum



Adresse als Standort

... einer bestimmten Bestandsart

- gemeint sind Namen von **Datei(standort)en** in der **Ablage**, aber auch zur Bezeichnung lokaler **Betriebsmittel** oder Systemstrukturen
 - ursprünglicher Bezugspunkt war die Datei (*file*), d.h., eine abgeschlossene Einheit zusammenhängender Daten
- das **speicherzentrische Betriebsmittel** ist aber nur das Beispiel einer einzelnen Bestandsart, andere sind etwa:
 - **Kommunikationsmittel** – Kanal (*pipe*), Sockel (*socket*), Briefkasten
 - **Gerät** – zeichen-, block-, stromorientiert
 - **Zustandsdaten** – Prozesstabelle, Adressraumbelegung, ...
- allgemein sind so einige anwendungsrelevante und durch Betriebssysteme bereitgestellte (Exemplare von) **Typen** namentlich zugänglich
- wichtiger Aspekt in dem Zusammenhang ist das **Verzeichnis** solcher Namen und die zugrunde gelegte Organisationsform
 - Struktur eines Namensraums in lokaler und globaler Hinsicht
 - Art der Verknüpfung zwischen Namen und dem benannten Ding
- ist **Persistenz** von Namen, Verzeichnissen und Abbildungen verlangt, bietet ein **Dateisystem** eine adäquate Implementierungsgrundlage



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/13

Alphabet und Wortlänge

Jedes Programm (inkl. das Betriebssystem) kann eigenen Ressourcen Zeichenketten zuordnen und Prozessen diese bekanntgeben.

- den **Zeichenvorrat** für Namen und Komponenten eines Pfadnamens gibt die Namensverwaltung des Betriebssystems vor
 - allgemein die Menge der druckbaren Zeichen (ASCII) ohne Trennzeichen
 - je nach Betriebssystem gibt es weitere Ausnahmen (= {", *, /, ?, |})
- genau genommen werden Bezeichnungen aber aus **Ordnungszahlen** gebildet, die ein **Zeichensatz** erst in Zeichen umwandelt
 - z.B. UTF-8 (Linux), latin-1 (MacOSX) oder CP 437 (DOS)
 - nicht jede Ordnungszahl entspricht somit zwingend demselben Zeichen
- ähnlich uneinheitlich ist die erlaubte Länge einer **Zeichenkette**, um Namen oder Pfadnamen zu formulieren
 - 1–255 Zeichen pro Name, bei UNIX auch pro Pfadnamenskomponente
 - bis zu $2^{15} - 1$ Zeichen pro Pfadname in Windows



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/15

Benennung

<https://de.wikipedia.org/wiki/Benennung>

Bezeichnung eines Gegenstands durch ein Wort oder mehrere Wörter.

- gedeutet in Bezug auf grundlegende Betriebssystemkonzepte, die mit Multics [6] eingeführt wurden:
 - ein **Wort** ■ der **Name** relativ zu einem bestimmten **Kontext**
 - lokal (in seinem Kontext) eindeutig, global mehrdeutig
- **mehrere Wörter** ■ der **Pfadname** im Namensraum zum benannten Ding
 - global eindeutige Bezeichnung des Namenskontextes
- die **Mehrwortbenennung** sieht einen „Trenntext“ als **Separator** vor, den die Namensverwaltung im Betriebssystem definiert, z.B.:
 - > ■ Multics (*greater-than*)
 - / ■ UNIX (*slash*)
 - \ ■ Windows (*backslash*)
- wohingegen jedoch die Namen selbst für die Namensverwaltung ohne Bedeutung sind und i.A. von ihr nicht interpretiert werden



© wosch

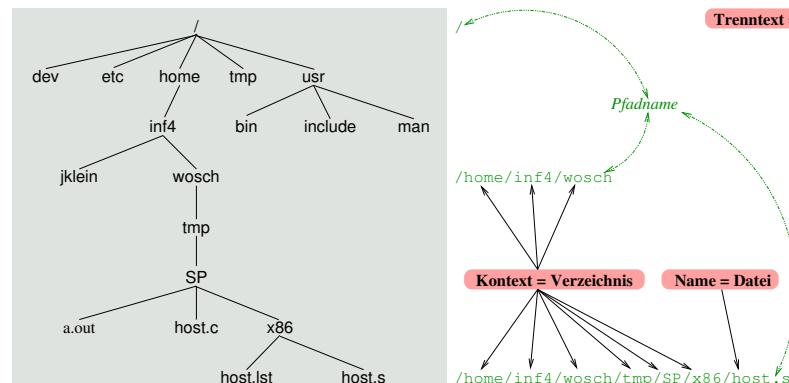
SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/14

Hierarchischer Namensraum I

Datebaum (*file tree*)



- ein **Kontext** repräsentiert einen **Namensraum flacher Struktur**
 - darin muss Eindeutigkeit mit der Namenswahl selbst gewährleistet sein
- im Gegensatz zu einem **Namensraum hierarchischer Struktur** (s. o.)
 - derselbe Name (*tmp*) kann in verschiedenen Kontexten definiert sein
 - durch den Pfadnamen wird sein jeweiliger Standort eindeutig gemacht



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/16

- das **Verzeichnis** (*directory*) ist fundamental für die Hierarchiebildung
 - es ordnet einen/mehrere Namen, auch Verzeichnisnamen, listenförmig an
 - ist namentlich selbst in einem **Elterverzeichnis** (*parent directory*) gelistet
 - es gibt mehreren Namen ein gemeinsames Merkmal, denselben Kontext
 - d.h., denselben Standort/Bezugspunkt innerhalb des Namensraums
 - es dient der Umsetzung von symbolischen in numerischen Adressen

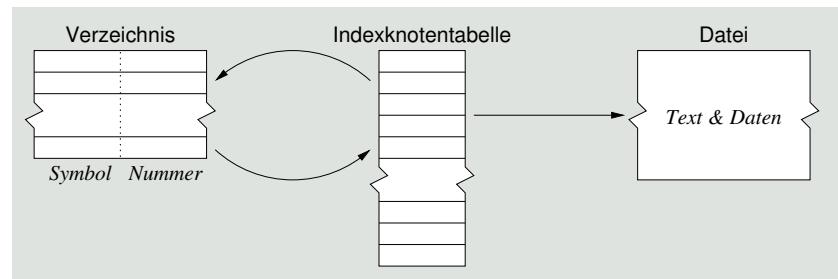
Verzeichniseintrag (*directory entry*)

Speichert die Abbildung eines Namens auf eine Informationsstruktur.

- UNIX-artige Betriebssysteme bieten zudem vordefinierte Kontexte:
 - **Wurzelverzeichnis** (*root directory*) des Systems¹
 - Einstiegspunkt in, aber auch „Steckverbinder“ für, den Namensraum
 - **Heimatverzeichnis** (*home directory*) eines autorisierten Benutzers
 - initiales Arbeitsverzeichnisses nach erfolgreicher Anmeldung (*login*)
 - **Arbeitsverzeichnis** (*working directory*) eines zugelassenen Prozesses
 - gegenwärtiger, relativer Standort des Prozesses im Namensraum

¹ Womit der Namensraum in einen bestehenden anderen Namensraum an einem Befestigungspunkt (*mount point*) gegebenenfalls eingebunden werden kann.

Datenstrukturen im Namensraum



- die **Indexknotentabelle** (*inode table*) ist ein statisches Feld (*array*) von Indexknoten und die zentrale Datenstruktur
 - ein Indexknoten ist **Deskriptor** insb. eines Verzeichnisses oder einer Datei
- das **Verzeichnis** (*directory*) ist eine **Abbildungstabelle**, es übersetzt symbolisch repräsentierte Namen in Indexknotennummern
 - eine von der Namensverwaltung des Betriebssystems definierte Datei
- die **Datei** (*file*) ist eine abgeschlossene Einheit zusammenhängender Daten beliebiger Repräsentation, Struktur und Bedeutung

- aggregiert wesentliche **Attribute** eines benannten Gegenstands:
 - Eigentümer (*user ID*)
 - Gruppenzugehörigkeit (*group ID*)
 - Rechte (lesen, schreiben, ausführen: für Eigentümer, Gruppe und Welt)
 - Zeitstempel (letzter Zugriff, letzte Änderung (Typ, Zugriffsrechte))
 - Anzahl der Verweise („hard link“-Zähler)
 - Typ:
 - Verzeichnis
 - symbolische Verknüpfung (*symbolic link*)
 - Kommunikationskanal (*pipe, named pipe*)
 - Sockel (*socket*) zur Interprozesskommunikation
 - Gerätedatei ~ zeichen-/blockorientiertes Gerät, Pseudogerät, Treiberklasse
 - reguläre Datei ~ Größe in Bytes und Blocknummer(n) in der Ablage
- besitzt in einem Namensraum eine eindeutige **numerische Adresse**

Indexknotennummer (*inode number*)

Hat mit einer logischen Adresse gemeinsam, dass sie nur innerhalb ihres „Adressraums“ (d.h. Namensraums) eindeutig ist.

Verzeichniseintrag I

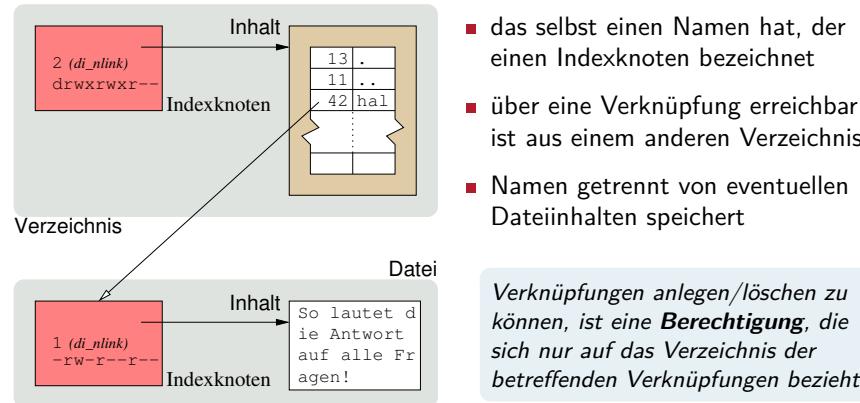
- die **feste Verknüpfung** (*hard link*) von einem Dateinamen mit einer Indexknotennummer (UNIX V7, *dir.h*):


```
1 typedef unsigned short ino_t;
2
3 #define DIRSIZ 14
4
5 struct direct {
6     ino_t d_ino;
7     char d_name[DIRSIZ];
8 };
```

 - eine als **Wertepaar** gespeicherte **surjektive Abbildung**
 - mehrere Paare können zum selben Indexknoten (*d_ino*) zeigen
 - im selben Verzeichnis jedoch mit verschiedenen Namen (*d_name*)
- in einem Indexknoten ist die Anzahl der auf ihn verweisenden Wertepaare desselben Namensraums gespeichert (*reference counter*)
- alle Indexknoten eines Namensraums sind in einer **Indexknotentabelle** (*inode table*) im Namensraum daselbst gespeichert
 - *d_ino* ist der **Indexwert** eines Verzeichniseintrags für diese Tabelle
- **Anlegen/Löschen** erfordert **Schreibzugriffsrecht** auf das Verzeichnis
 - unabhängig von den Zugriffsrechten auf die referenzierte Datei

Verzeichniseintrag II

- ein Namenverzeichnis ist eine **spezielle Datei** der Namensverwaltung



- Selbstreferenz („dot“, 13) und Elterverzeichnis („dot dot“, 11) geben wenigstens zwei Verweise auf ein Verzeichnis
 - auch wenn das Verzeichnis selbst sonst keine weiteren Namen enthält



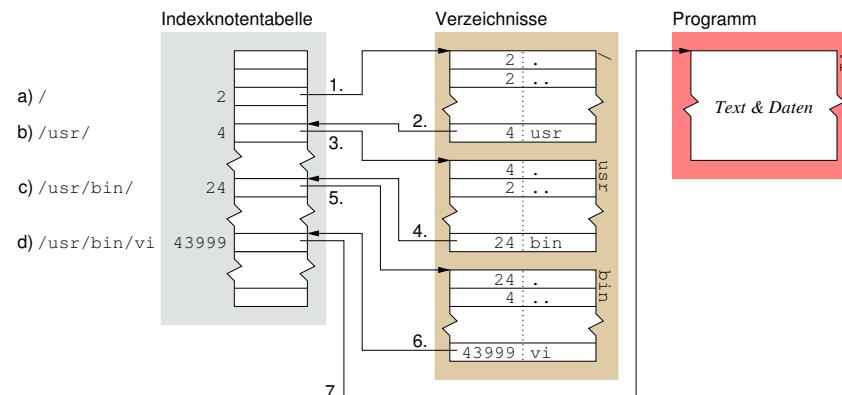
© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/21

Auflösung am Beispiel von /usr/bin/vi



- Wurzelverzeichnis des Namensraums öffnen
- darin Namenseintrag **usr** suchen, ist ein Verzeichnis, öffnen
- darin Namenseintrag **bin** suchen, ist ein Verzeichnis, öffnen
- darin Namenseintrag **vi** suchen, ist ein Programm, öffnen



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/23

Bindung und Auflösung

Abbildung $f : N_{symbolisch} \mapsto N_{numerisch}$

- Namensbindung** (*name binding*) kommt zuerst, also die **Abbildung** der symbolischen Adresse in eine numerische Adresse
 - einen Pfadnamen mit einem Indexknoten assoziieren: `creat(2)`, `link(2)`
 - geschieht zum **Erzeugungszeitpunkt** eines Datei-/Verzeichnisnamens
 - diesen mit einem freien/belegten Indexknoten verknüpfen und
 - dann in ein Namensverzeichnis eintragen
- Namensauflösung** (*name resolution*) kommt später, die **Umsetzung** der symbolischen Adresse in eine numerische Adresse
 - einen Indexknoten anhand eines Pfadnamens lokalisieren: `open(2)`
 - geschieht zum **Benutzungszeitpunkt** eines Datei-/Verzeichnisnamens
 - Verzeichnisse für jeden einzelnen Namen im Pfad durchsuchen und
 - schließlich den Dateinamen (Blatt) auffinden

Hinweis

Der Indexknoten besitzt eine Adresse (a) in der Ablage und (b) im Arbeitsspeicher. Diese kann sehr wohl als eine **virtuelle Adresse** aufgefasst werden, über die Inhalte von Dateien speicherabgebildet im virtuellen Adressraum indirekt zugänglich werden.



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/22

Symbolische Verknüpfung

symbolic link

- Indexknotennummern sind nur innerhalb ihres Bezugssystems gültig
 - der Zugriff auf einen anderen Namensraum ist darüber nicht möglich
 - sie teilen sich damit dieselbe Eigenschaft wie logische/virtuelle Adressen
 - sie sind ein **Tabellenindex**, wie der p- bzw. s-Anteil dieser Adressen
- der hierarchische Namensraum ist ein **gerichteter azyklischer Graph**
 - um den **Wurzelbaum** zu erhalten, scheiden feste Verknüpfungen aus
 - feste Verknüpfungen zu Verzeichnissen zerstören die azyklische Struktur
 - das Elterverzeichnis (...) eines Verzeichnisses wäre dann uneindeutig
 - die Namensraumbuchsuche (*name space search*) könnte „endlos schleifen“
- Abbildung $f : N_{symbolisch}^d \mapsto N_{symbolisch}^z$ hat diese Probleme nicht
 - feste Verknüpfungen sind ununterscheidbar, symbolische nicht: **Dateityp**
 - symbolische Verknüpfungen haben Indexknoten, feste nicht
 - sie gelten daher jeweils auch als:
 - langsam** weil indirekt gespeichert, in den Datenblöcken als reguläre Datei
 - schnell** weil direkt gespeichert, im Indexknoten selbst
- Ursprung ist der **symbolische Name** (*symbolic name*) in Multics [2]
 - zur dynamischen Bindung von Namen an (besondere) E/A-Geräte



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

2.2 Dynamische Namensauflösung – Pfadnamen

VI.3/24

Gliederung

Einführung
Semiotik
Informatik

Dynamische Namensauflösung
Virtuelle Adressen
Pfadnamen

Statische Namensauflösung
Übersetzer
Binder
Lader

Zusammenfassung



Programmkopf

Pseudobefehle

- Programmsymbole auf **Binderabschnitte** (*linker sections*) verteilen

```
1      .file    "host.c"
2      .section .rodata.str1.1,"aMS",@progbits,1
3
4      .LC0:
5      .string "%s = "
6
7      .LC1:
8      .string "%s"
9      .section .text.startup,"ax",@progbits
10     .p2align 4,,15
11     .globl  main
12     .type   main, @function
main:
```

- 2 ■ beleg- und nur lesbares ("aMS") **Datensegment** (2–6)
 - Symbole .LC0 und .LC1 sind nur lokal definiert
- 7 ■ beleg- und ausführbares ("ax") **Textsegment** (7–83, vgl. S. 28)
- 8 ■ Wert der Adresse des Abschnitts soll Vielfaches von 16 sein
- 9–10 ■ Symbol main ist global definiert, eine Funktion
- die Symbole werden bekannt gemacht und mit Attributen verknüpft
 - Text, Daten, Sichtbarkeit, Typ, Benutzungsart
- Adresswerte in Bezug auf den Prozessadressraum stehen noch aus
 - konkrete Werte für die Symbole und die einzelnen Maschinenbefehle



Adresse als Symbol

Abbildung $f : A_{symbolisch} \mapsto A_{numerisch}$

- am Anfang steht jedoch die **symbolische Adresse** in Programmen, die in einem mehrstufigen Verfahren aufzulösen ist

```
1 int main(int argc, char **argv) {
2     if (argc == 2) {
3         struct hostent *host = gethostbyname(argv[1]);
4         if (host != NULL) {
5             unsigned int i = 0;
6             printf("%s = ", host->h_name);
7             while (host->h_addr_list[i] != NULL)
8                 printf("%s ", inet_ntoa(*(struct in_addr*)(host->h_addr_list[i++])));
9             printf("\n");
10        }
11    }
12 }
```

Kompilierer

- verteilt Programmtext und -daten auf Programmsegmente

Assemblierer

- generiert dazu Pseudobefehle, die der Assemblierer deutet

ordnet Programmsymbolen Werte und Attribute zu

- generiert Symbol- und Relocationstabellen für den Binder

Binder

- platziert das gebundene Programm im Adressraum

■ produziert das Lademodul dazu für das Betriebssystem

- zusätzlich erfolgt die Generierung des Maschinenkodes, zwei Schritte:

- Kompilierung des Quellkodes in eine andere symbolische Darstellung
- Assemblierung und Bindung in die benötigte numerische Auslegung

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

3.1 Statische Namensauflösung – Übersetzer

Programmfuß

Pseudobefehle

- Abschluss der **Übersetzungseinheit** (*compilation unit*)

```
81 .LFE19:
82     .size   main, .-main
83     .ident  "GCC: (Debian 4.7.2-5) 4.7.2"
84     .section .note.GNU-stack,"",@progbits
```

- 82 ■ dem Symbol main die Länge des Programmtextes zuweisen

- 84 ■ das Programmteil benötigt kein ausführbares ("") Stapelsegment

- Ergebnis der Assemblierung ist das Binde- oder **Objektmodul**, das u.a. zwei (vom Assemblierer zusammengestellte) Tabellen enthält

Symboltabelle ■ listet alle in dem Modul definierten Symbole und ■ assoziiert jedes Symbol mit Werten und Attributen

Relocationstabelle ■ listet alle „undefinierten Stellen“ in dem Modul ■ Stellen, an denen definierte Adresswerte noch fehlen

- jedes Text- und Datenelement besitzt eine **vorläufige Adresse**, die relativ zur Basisadresse 0 ausgelegt/-gerichtet ist

■ Stellen mit undefinierten Adressen korrigiert der **Binder** oder der **Lader**

– d.h., es erfolgt die **Relokation** einer an dieser Stelle liegenden Referenz

■ Korrekturmaß ist die Ladeadresse des gebundenen Programms

– die **Relocationskonstante**, gemäß Adressraummodell des Betriebssystems

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

3.1 Statische Namensauflösung – Übersetzer

Programmrumpf

Assemblierprogrammauflistung

- **Auflistung (listing)** der Übersetzungseinheit nach der Assemblierung (Ausschnitt des Quellprogramms von S. 26, dort Zeilen 3–6)

```
1 26 0009 488B7E08    movq  $0(%rsi), %rdi
2 27 000d E8000000    call   gethostbyname
3 27 00
4 28 0012 4885C0    testq %rax, %rax
5 29 0015 4889C5    movq  %rax, %rbp
6 30 0018 745E      je    .L8
7 31 001a 488B30    movq  (%rax), %rsi
8 32 001d BF000000    movl  $.LC0, %edi
9 32 00
10 33 0022 31C0     xorl  %eax, %eax
11 34 0024 31DB     xorl  %ebx, %ebx
12 35 0026 E8000000    call   printf
13 35 00
```

- typischerweise vier Bereiche:
 1. Zeilennummer des Befehls, hier: 26–35
 2. relative Adresse im Programm, hier: 0009–0026 (Hexadezimal)
 3. numerischer Maschinenkode, hier: 32 Bit (4 Bytes) pro Zeile
 4. Mnemonik und Operand(en)

- an folgenden Stellen/relativen Adressen ist **Relokation** erforderlich:

- 2/000e ■ Adresse für gethostbyname, externe Referenz (libc)
- 8/001e ■ Adresse für .LC0, interne Referenz (vgl. S. 27)
- 12/0027 ■ Adresse für printf, externe Referenz (libc)

- korrekte Programmausführung benötigt Korrektur an diesen Stellen
 - dort stehende **absolute Adressen** müssen zum Adressraummodell passen

© wosch SP (SS 2018, B – VI.3)

3.1 Statische Namensauflösung – Übersetzer

VI.3/29

Maschinenprogramm

symbolischer Maschinenkode

- derselbe Ausschnitt wie zuvor, jedoch dem **Lademodul** entnommen

```
1 0x00000000004003e9 <+9>:    mov    0x8(%rsi),%rdi
2 0x00000000004003ed <+13>:   callq 0x415e60 <gethostbyname>
3 0x00000000004003f2 <+18>:   test   %rax,%rax
4 0x00000000004003f5 <+21>:   mov    %rax,%rbp
5 0x00000000004003f8 <+24>:   je    0x400458 <main+120>
6 0x00000000004003fa <+26>:   mov    (%rax),%rsi
7 0x00000000004003fd <+29>:   mov    $0x48d1a4,%edi
8 0x0000000000400402 <+34>:   xor    %eax,%eax
9 0x0000000000400404 <+36>:   xor    %ebx,%ebx
10 0x0000000000400406 <+38>:  callq 0x401120 <printf>
```

- vorher noch **unaufgelöste Referenzen** haben definierte Werte erhalten:

0x415e60 ~ gethostbyname

0x48d1a4 ~ .LC0

0x401120 ~ printf

- allen Text- und Datenelementen wurden **absolute Adressen** zugewiesen
 - der Programmausschnitt liegt im Adressbereich [4003e9₁₆, 400406₁₆]
 - bei Ausführung nimmt der Befehlszähler u.a. Werte aus diesem Bereich an

- die Adresswerte allein sagen nichts zur Art des Adressraums aus

- es könnte ein realer, logischer oder virtueller Adressraum sein

- Wissen über das **Adressraummodell** des Betriebssystems gibt Aufschluss

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

3.2 Statische Namensauflösung – Binder

VI.3/30

Adressraummodell des Betriebssystems

x86_64 Linux

- **Adressraumbelegung** für dieses „Programm in Ausführung“

```
1 wosch@fau148e:111$ ./a.out faui40.cs.fau.de &
2 [1] 20857
3 faui40.informatik.uni-erlangen.de = 131.188.34.40
4 wosch@fau148e:112$ cat /proc/20857/maps
5 00400000-00401000 r-xp 00000000 00:2a 38020125          /home/inf4/wosch/tmp/a.out
6 00600000-00601000 rw-p 00000000 00:2a 38020125          /home/inf4/wosch/tmp/a.out
7 01ff9000-0201a000 rw-p 00000000 00:00 0                  [heap]
8 7f03d63ad000-7f03d6f82000 rw-p 00000000 00:00 0          shared libraries
9 7ffc79532000-7ffc79553000 rw-p 00000000 00:00 0          [stack]
10 7ffc795b8000-7ffc795b9000 r-xp 00000000 00:00 0          [vdso]
11 ffffff600000-ffffffffff601000 r-xp 00000000 00:00 0          [vsyscall]
```

- 5 ■ Textsegment, effektiv 4 KiB (eine Seite), insgesamt 2 MiB
- 6 ■ Datensegment, effektiv 4 KiB (eine Seite), insgesamt ≈ 26 MiB
- 7 ■ Haldenspeicher, vorgegeben 132 KiB, erweiterbar
- 8 ■ Stapelspeicher, vorgegeben 132 KiB, erweiterbar
- die Größenangaben variieren mit dem Programm und dem Prozess !
- für einen Prozess adressier- aber nicht belegbar sind die Bereiche:
 - 8 ■ Gemeinschaftsbibliotheken (*shared libraries*)
 - 10/11 ■ Systemaufrufbeschleunigung (vgl. auch [3, S. 21–22])
- **Ladeadresse** — und somit **Relocationskonstante** — ist 0x400000
 - der Bereich [0, 3fffff₁₆] ist nicht Teil des Prozessadressraums !

© wosch SP (SS 2018, B – VI.3)

3.3 Statische Namensauflösung – Lader

VI.3/31

Gliederung

Einführung

Semiotik

Informatik

Dynamische Namensauflösung

Virtuelle Adressen

Pfadnamen

Statische Namensauflösung

Übersetzer

Binder

Lader

Zusammenfassung

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

4. Zusammenfassung

VI.3/32

Resümee

... Namen sind nicht Schall und Rauch

- **symbolische Bezeichnungen** abstrahieren von konkreten Adressen
 - Programmtext- und -datenstellen, Datei-/Pfadnamen, ..., URL
 - üblich ist die mehrstufige statische und dynamische Auflösung
- den Schwerpunkt bildete die **dynamische Namensauflösung**
 - eine (reale, logische, virtuelle) Adresse ist Name einer Speicherstelle
 - je nach Abstraktionsebene der Haupt- oder Arbeitsspeicher
 - Seitenummerierung, Segmentierung, seitennummelierte Segmentierung
 - Datei-/Pfadnamen repräsentieren Adressen im Ablagesystem
 - der Namens-/Adressraum ist (nicht nur hier) hierarchisch organisiert
 - Orientierung am Dateisystem: Datei, Verzeichnis, Indexknoten, Verknüpfung
 - systemglobale, weltweite Eindeutigkeit liefert die Internetadresse
- Vorarbeit zu all dem leistet die **statische Namensauflösung**:
 - Kompilierer** ■ verteilt Programmtext und -daten auf Programmsegmente
 - Assemblierer** ■ ordnet Programmsymbolen Werte und Attribute zu
 - Binder** ■ platziert das gebundene Programm im Adressraum
 - Lader** ■ legt den „gefüllten“ Adressraum im Arbeitsspeicher ab
- das Zusammenspiel beider Verfahren ist typisch in Rechensystemen
 - nämlich Abbildungsfunktionen, die vor und zur Laufzeit greifen



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

4. Zusammenfassung

VI.3/33

Namensabbildung bei Segmentierung I

gültig/ungültig?

- die Abbildungsfunktion nutzt eine einstufige **Segmenttabelle**:
 - **s** ist **Indexwert**, der gültig ist im Bereich $[0, S_{limit}]$
 - sei $S = 2^m$ max. Segmentanzahl
 - dann gilt $0 < S_{limit} \leq S - 1$
 - ein möglicher **Indexfehler** muss erkannt werden
 - Grenzwertprüfung auf Basis eines *limit*-Registers (MMU) ist üblich
 - die Tabelle wird (norm.) nicht mit ungültigen Einträgen aufgefüllt
 - S hängt ab von der MMU und dem Betriebssystem
- ein **Segmentfehler** (*segment fault*) bedeutet dann verschiedenerlei:
 - gültig falls $0 \leq s \leq S_{limit}$ und $a \leq l$, mit $l = \text{Segmenttabelle}[s].limit$, dann ist s abwesend (*swap-in*) oder ungenutzt (dynamisches Binden)
 - sonst ungültig: Segment s oder Adresse a ist für den Prozess undefined

© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

5.1 Anhang – Virtuelle Adressen

VI.3/35

Literaturverzeichnis

- [1] DENNING, P. J.: Virtual Memory. In: *Computing Surveys 2* (1970), Sept., Nr. 3, S. 153–189
- [2] FEIERTAG, R. J. ; ORGANICK, E. I.: The Multics Input/Output System. In: *Proceedings of the Third ACM Symposium on Operating System Principles (SOSP 1971), October 18–20, 1971, Palo Alto, California, USA*, ACM, 1971, S. 35–41
- [3] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. : Maschinenprogramme. In: [5], Kapitel 5.2
- [4] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. : Speicher. In: [5], Kapitel 6.2
- [5] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. ; LEHRSTUHL INFORMATIK 4 (Hrsg.): *Systemprogrammierung*. FAU Erlangen-Nürnberg, 2015 (Vorlesungsfolien)
- [6] ORGANICK, E. I.: *The Multics System: An Examination of its Structure*. MIT Press, 1972. – ISBN 0-262-15012-3



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

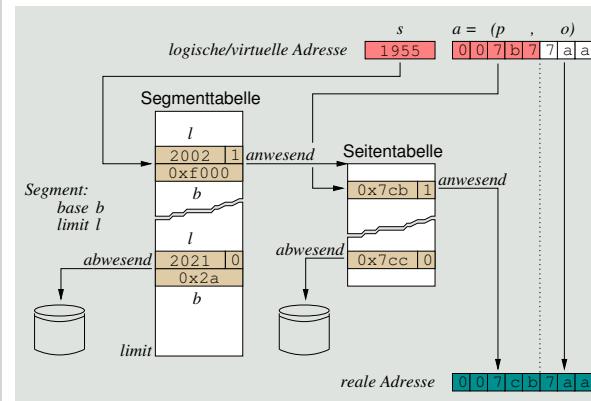
4.1 Zusammenfassung – Bibliographie

VI.3/34

Namensabbildung bei Segmentierung II

seitennummeliert

- die Abbildungsfunktion nutzt beide zuvor dargestellten Techniken



- Segment- und Seitenfehler sind möglich, mit folgender Bedeutung:
 - gültig falls $0 \leq s \leq S_{limit}$ und $p \leq l$, mit $l = \text{Segmenttabelle}[s].limit$, dann ist s oder p bzw. beide sind abwesend oder ungenutzt
 - ungültig sonst: Segment s oder Seite p ist für den Prozess undefined



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

5.1 Anhang – Virtuelle Adressen

VI.3/36

Segmentierte Seitenadressierung

segmented paging

- kombiniert die **Vorteile** von Seitennummerierung und Segmentierung
 - einfache Platzierungsstrategie, da die Speicherzuteilung kachelorientiert und damit immer in Einheiten gleicher Größe geschieht (vgl. [4, S. 18])
 - mehrstufige Seitentabellen fallen weg, da alle Tabellen Segmente und so jeweils in ihrer wirklichen Seitenanzahl beschränkt sind
 - bessere Trennung von Belangen, da Segmente und Seiten bzw. Kacheln verschiedenen Zielen dienen
 - **Segment** – Abbildung und Erfassung von **Programmstrukturen**
 - **Seite** – Optimierung von **Systemfunktionen** der Speicherverwaltung
 - seitennummelierte Adressräume zu „segmentieren“, ist etwas anderes
 - also Seiten zu Text-, Daten- oder Stapelsegmenten zusammenstellen²
 - Programmstrukturen lassen sich damit im System nicht wirklich abbilden
 - vom Verwaltungsaufwand mehrstufiger Seitentabellen einmal ganz abgesehen
 - Segmentierung unterstützt zudem **dynamisches Binden** ungemein
 - die „Bindlinge“ sind symbolisch bezeichnete, **physische Segmente**
 - d.h., Programmstrukturen, Adressräume (Seitentabellen), ..., Dateien
- ²So, wie es von UNIX-ähnlichen Betriebssystemen (inkl. Linux) bekannt und überhaupt nach Multics [6] eben nur noch gang und gäbe ist.



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

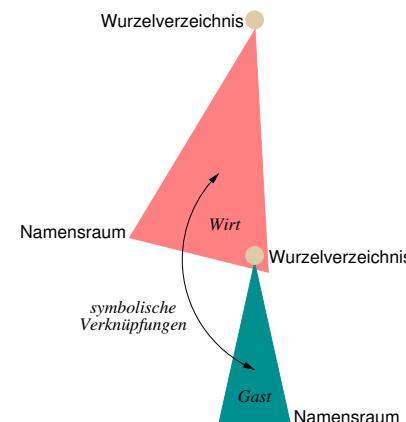
5.1 Anhang – Virtuelle Adressen

VI.3/37

Namensraumverbindung

Dateisystem ein-/aushängen

- Namensräume können an einem **Befestigungspunkt** (*mount point*) miteinander verbunden werden
 - ohne damit jedoch eine Erweiterung des Namensraums vorzunehmen
- der Punkt ist ein **Verzeichnis** im Wirtsnamensraum
 - Einhängen (*mount*) blendet den Inhalt des Wirtsverzeichnisses aus
 - der Wurzelverzeichnisinhalt des Gastnamensraums erscheint
 - Aushängen (*umount*) macht den alten Verzeichnisinhalt sichtbar
- ein **Pfadname** kann dann Wirts- und Gastnamensraum abdecken
 - einerseits streng hierarchisch, von oben nach unten (*top down*)
 - andererseits quer verweisend, durch **symbolische Verknüpfung**



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

5.2 Anhang – Pfadnamen

VI.3/39

Gegenüberstellung

- feste Verknüpfung
 - nicht zu Verzeichnissen oder Dateien anderer Dateisysteme
 - überdauert die Umplatzierung einer Datei
 - bleibt bestehen, nur solange es noch Referenzen gibt
 - hat keinen eigenen Indexknoten
- symbolische Verknüpfung
 - auch zu Verzeichnissen und Dateien anderer Dateisysteme
 - ungültig nach Umplatzierung einer Datei
 - bleibt bestehen, auch wenn es keine Referenzen gibt
 - hat einen eigenen Indexknoten

„Nicht alles, was glänzt, ist Gold“ (Shakespeare, 1600)

```
wosch@lorien 1$ mkdir -p Laptop/faui43w; cd Laptop; ln -s faui43w lorien; ls -l
total 8
drwxr-xr-x 2 wosch wosch 68 29 Apr 13:01 faui43w
lrwxr-xr-x 1 wosch wosch 7 29 Apr 13:02 lorien -> faui43w
wosch@lorien 2$ cd lorien
wosch@lorien 3$ cd ..; rmdir faui43w; cd lorien
-bash: cd: lorien: No such file or directory
wosch@lorien 4$ ls -l
total 8
lrwxr-xr-x 1 wosch wosch 7 29 Apr 13:02 lorien -> faui43w
wosch@lorien 5$ mkdir faui43w; cd lorien
wosch@lorien 6$ ln -s Fata\ Morgana SP1
```



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

5.2 Anhang – Pfadnamen

VI.3/38

Adresse als Nummer

Ergebnis einer Nummerung

Definition (Nummerung (DIN 6763))

Bilden, Erteilen, Verwalten und Anwenden von Nummern.

- die **Eindeutigkeit** der Speicher- und Standortadressen ist begrenzt
 - Indexknotennummern durch den **Namensraum** ihres Dateisystems
 - reale, logische und virtuelle Adressen durch ihren (Prozess-) **Adressraum**
 - Prozesskennungen durch den **Nummernraum** ihres Rechensystems
- die **Internetprotokolladresse** (IP-Adresse) ist weltweit eindeutig
 - IPv4 ■ 32 Bit: vier Blöcke zu jeweils drei Dezimalstellen (8 Bit)
 - IPv6 ■ 128 Bit: acht Blöcke zu jeweils vier Hexadezimalstellen (16 Bit)
 - vom ARP (*address resolution protocol*) aufgelöst und umgewandelt in die **Netzwerkadapteradresse** (MAC, *media access control*)
 - rechensystemlokal wird das Adressenpaar in der ARP-Tabelle hinterlegt
- verallgemeinerte Form ist der/die **URL** (*universal resource locator*)
 - neben Adressinformationen ist zusätzlich die **Zugriffsmethode** enthalten, die durch :// von den schemaspezifischen Angaben getrennt ist
 - die Internetadresse identifiziert dabei den **Wirt** (*host*) einer Webanfrage



© wosch

SP (SS 2018, B – VI.3)

5.3 Anhang – Internetadressen

VI.3/40