

Betriebssystemtechnik

Adressräume: Trennung, Zugriff, Schutz

XI. Bindelader

Andreas Ziegler

11. Juli 2019



Einleitung

Gemeinschaftsbibliothek

Binden und Laden

Textverbände

Multics

Einführung

GE-645

Dynamisches Binden

Zusammenfassung



- Gemeinschaftssegment (*shared memory segment*)



- Gemeinschaftssegment (*shared memory segment*)
 - explizite Text- und Datenverbände ursprünglich getrennter Adressräume
 - positionsabhängige/-unabhängige Mitbenutzung
 - Verbände erfordern einen passenden Zuschnitt der Text-/Datenbereiche
 - Ausrichtung gemäß Granulatgröße: byte-, block-, seitenausgerichtet
 - Bereichslänge ist Vielfaches der Länge einer Ausrichtungseinheit
 - Text-/Datenverbände haben statische/dynamische Systemeigenschaften
 - eine Frage der Bindezeit von Symbol und Adresse: vor/zur Laufzeit



- Gemeinschaftssegment (*shared memory segment*)
 - explizite Text- und Datenverbünde ursprünglich getrennter Adressräume
 - positionsabhängige/-unabhängige Mitbenutzung
 - Verbünde erfordern einen passenden Zuschnitt der Text-/Datenbereiche
 - Ausrichtung gemäß Granulatgröße: byte-, block-, seitenausgerichtet
 - Bereichslänge ist Vielfaches der Länge einer Ausrichtungseinheit
 - Text-/Datenverbünde haben statische/dynamische Systemeigenschaften
 - eine Frage der Bindezeit von Symbol und Adresse: vor/zur Laufzeit
- Übertragungstechniken: *copy on write*, *copy on reference*
 - Prozessadressraumerzeugung \rightsquigarrow COW
 - Interprozesskommunikation \rightsquigarrow COW und COR
 - Deduplizierung (VMM) \rightsquigarrow COW



- Gemeinschaftssegment (*shared memory segment*)
 - explizite Text- und Datenverbände ursprünglich getrennter Adressräume
 - positionsabhängige/-unabhängige Mitbenutzung
 - Verbände erfordern einen passenden Zuschnitt der Text-/Datenbereiche
 - Ausrichtung gemäß Granulatgröße: byte-, block-, seitenausgerichtet
 - Bereichslänge ist Vielfaches der Länge einer Ausrichtungseinheit
 - Text-/Datenverbände haben statische/dynamische Systemeigenschaften
 - eine Frage der Bindezeit von Symbol und Adresse: vor/zur Laufzeit
- Übertragungstechniken: *copy on write*, *copy on reference*
 - Prozessadressraumerzeugung \rightsquigarrow COW
 - Interprozesskommunikation \rightsquigarrow COW und COR
 - Deduplizierung (VMM) \rightsquigarrow COW
- Thema heute: **Gemeinschaftsbibliothek** (*shared library*), d.h.:
 - Programmbibliothek im **Textverbund** (*code sharing*)
 - Gemeinsamkeiten mit und Unterschiede zu **dynamisches Binden**
 - von Bibliothek/sinhalt/en oder beliebigen symbolisch adressierten Entitäten



Bündel von Unterprogrammen oder Objekten, die von Programmen durch **symbolische Adressierung** angefordert werden



Bündel von Unterprogrammen oder Objekten, die von Programmen durch **symbolische Adressierung** angefordert werden

- statische Bindung läuft ab vor Lade- oder Laufzeit des Programms
 - ergibt **große Programme**, die alles Referenzierte eingebunden haben
 - Folge ist ein **großer Speicherplatzbedarf** im Vorder- und Hintergrund
 - für gebundene Programme sind **Bibliotheksänderungen wirkungslos**



Bündel von Unterprogrammen oder Objekten, die von Programmen durch **symbolische Adressierung** angefordert werden

- statische Bindung läuft ab vor Lade- oder Laufzeit des Programms
 - ergibt **große Programme**, die alles Referenzierte eingebunden haben
 - Folge ist ein **großer Speicherplatzbedarf** im Vorder- und Hintergrund
 - für gebundene Programme sind **Bibliotheksänderungen wirkungslos**
- ↪ **Individualbibliothek**, ist in Teilen mehrfach repliziert gespeichert
- ↪ Symbolauflösung durch einen **Binder** (*linkage editor, linker*)



Bündel von Unterprogrammen oder Objekten, die von Programmen durch **symbolische Adressierung** angefordert werden

- dynamische Bindung läuft ab zur Lade- oder Laufzeit des Programms
 - kleinere Programme im Hintergrund, da kleinere Lademodule (Datei)
 - **bedingt kleinerer Speicherplatzbedarf** im Vordergrund: Art dyn. Bindung¹
 - Programme profitieren von Bibliotheksänderungen insb. Fehlerkorrekturen

¹Die komplette Bibliothek oder nur einzelne Einträge/Unterprogramme.



Bündel von Unterprogrammen oder Objekten, die von Programmen durch **symbolische Adressierung** angefordert werden

- dynamische Bindung läuft ab zur Lade- oder Laufzeit des Programms
 - kleinere Programme im Hintergrund, da kleinere Lademodule (Datei)
 - **bedingt kleinerer Speicherplatzbedarf** im Vordergrund: Art dyn. Bindung¹
 - Programme profitieren von Bibliotheksänderungen insb. Fehlerkorrekturen
- ↪ **Gemeinschaftsbibliothek**, ist im Arbeitsspeicher ggf. mehrfach repliziert
- ↪ Symbolauflösung durch einen **Bindelader** (*linking loader*)

¹Die komplette Bibliothek oder nur einzelne Einträge/Unterprogramme.



Bündel von Unterprogrammen oder Objekten, die von Programmen durch **symbolische Adressierung** angefordert werden

- statische Bindung läuft ab vor Lade- oder Laufzeit des Programms
 - ergibt **große Programme**, die alles Referenzierte eingebunden haben
 - Folge ist ein **großer Speicherplatzbedarf** im Vorder- und Hintergrund
 - für gebundene Programme sind **Bibliotheksänderungen wirkungslos**

↪ **Individualbibliothek**, ist in Teilen mehrfach repliziert gespeichert

↪ Symbolauflösung durch einen **Binder** (*linkage editor, linker*)
- dynamische Bindung läuft ab zur Lade- oder Laufzeit des Programms
 - kleinere Programme im Hintergrund, da kleinere Lademodule (Datei)
 - **bedingt kleinerer Speicherplatzbedarf** im Vordergrund: Art dyn. Bindung¹
 - Programme profitieren von Bibliotheksänderungen insb. Fehlerkorrekturen

↪ **Gemeinschaftsbibliothek**, ist im Arbeitsspeicher ggf. mehrfach repliziert

↪ Symbolauflösung durch einen **Bindelader** (*linking loader*)
- Gemeinschaftsbibliotheken haben Einfluss auf das Adressraummodell

¹Die komplette Bibliothek oder nur einzelne Einträge/Unterprogramme.

Einleitung

Gemeinschaftsbibliothek

Binden und Laden

Textverbände

Multics

Einführung

GE-645

Dynamisches Binden

Zusammenfassung



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert
 - der Binder (*linker*) sucht in den Bibliotheken nach **Objektmodulen**, die undefinierte externe Symbole auflösen (d.h., exportieren)
 - jedoch kopiert er die gefundenen Module nicht in die Ausgabedatei



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert
 - der Binder (*linker*) sucht in den Bibliotheken nach **Objektmodulen**, die undefinierte externe Symbole auflösen (d.h., exportieren)
 - jedoch kopiert er die gefundenen Module nicht in die Ausgabedatei
 - vielmehr vermerkt er, in welcher Bibliothek das Modul enthalten ist und
 - hinterlässt eine Liste der Bibliotheken in dem **Lademodul** (*executable*)



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert
 - der Binder (*linker*) sucht in den Bibliotheken nach **Objektmodulen**, die undefinierte externe Symbole auflösen (d.h., exportieren)
 - jedoch kopiert er die gefundenen Module nicht in die Ausgabedatei
 - vielmehr vermerkt er, in welcher Bibliothek das Modul enthalten ist und
 - hinterlässt eine Liste der Bibliotheken in dem **Lademodul** (*executable*)
- die Inbetriebsetzung (*startup*) der Bibliothek(en) erfolgt zur **Ladezeit**



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert
 - der Binder (*linker*) sucht in den Bibliotheken nach **Objektmodulen**, die undefinierte externe Symbole auflösen (d.h., exportieren)
 - jedoch kopiert er die gefundenen Module nicht in die Ausgabedatei
 - vielmehr vermerkt er, in welcher Bibliothek das Modul enthalten ist und
 - hinterlässt eine Liste der Bibliotheken in dem **Lademodul** (*executable*)
- die Inbetriebsetzung (*startup*) der Bibliothek(en) erfolgt zur **Ladezeit**
 - der Lader (*loader*) setzt für das Programm einen logischen Adressraum auf, gemäß den Vorgaben im Lademodul



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert
 - der Binder (*linker*) sucht in den Bibliotheken nach **Objektmodulen**, die undefinierte externe Symbole auflösen (d.h., exportieren)
 - jedoch kopiert er die gefundenen Module nicht in die Ausgabedatei
 - vielmehr vermerkt er, in welcher Bibliothek das Modul enthalten ist und
 - hinterlässt eine Liste der Bibliotheken in dem **Lademodul** (*executable*)
- die Inbetriebsetzung (*startup*) der Bibliothek(en) erfolgt zur **Ladezeit**
 - der Lader (*loader*) setzt für das Programm einen logischen Adressraum auf, gemäß den Vorgaben im Lademodul
 - anschließend durchläuft er eine **Anlaufprozedur** (*startup code*)
 - die die Bibliotheken findet und in den Programmadressraum einblendet



Arbeitsteilung von Binder und Lader, um die Anzahl redundanter Programme zu reduzieren und Speicherplatz zu sparen

- zur **Bindezeit** werden Symbole mit Adressen assoziiert
 - der Binder (*linker*) sucht in den Bibliotheken nach **Objektmodulen**, die undefinierte externe Symbole auflösen (d.h., exportieren)
 - jedoch kopiert er die gefundenen Module nicht in die Ausgabedatei
 - vielmehr vermerkt er, in welcher Bibliothek das Modul enthalten ist und
 - hinterlässt eine Liste der Bibliotheken in dem **Lademodul** (*executable*)
- die Inbetriebsetzung (*startup*) der Bibliothek(en) erfolgt zur **Ladezeit**
 - der Lader (*loader*) setzt für das Programm einen logischen Adressraum auf, gemäß den Vorgaben im Lademodul
 - anschließend durchläuft er eine **Anlaufprozedur** (*startup code*)
 - die die Bibliotheken findet und in den Programmadressraum einblendet
- die Anlaufprozedur vollzieht die **statische oder dynamische Bindung**
 - je nach den Einflussfaktoren für die Text-/Datenverbünde (s. vorige VL)
 - bevor das geladene Programm (durch `main`-Aufruf) eigentlich startet



- die Inbetriebsetzung der Bibliothek



- die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii



- die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
- zur **Einlagerung** in den realen Adressraum bestehen die Optionen:
 - im Voraus
 - vorgehend (*anticipatory*), vor Programmstart
 - bedingtes Laden² aller Objekte gebundener Symbole
 - auf Anforderung
 - bei Bedarf (*on-demand*), nach Programmstart
 - speicherabgebildete Datei (*memory-mapped file*)
 - typisch in Verbindung mit virtuellem Speicher

²Nur die Bibliotheksinhalte, die noch nicht geladen wurden.

Anlaufprozedur

- die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
- zur **Einlagerung** in den realen Adressraum bestehen die Optionen:
 - im Voraus
 - vorgehend (*anticipatory*), vor Programmstart
 - bedingtes Laden² aller Objekte gebundener Symbole
 - auf Anforderung
 - bei Bedarf (*on-demand*), nach Programmstart
 - speicherabgebildete Datei (*memory-mapped file*)
 - typisch in Verbindung mit virtuellem Speicher
- die **Einblendung** in den (log.) Programmadressraum erfolgt
 - im Voraus
 - statische Gemeinschaftsbibliothek
 - auf Anforderung
 - dynamische Gemeinschaftsbibliothek

²Nur die Bibliotheksinhalte, die noch nicht geladen wurden.



Anlaufprozedur

- die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
- zur **Einlagerung** in den realen Adressraum bestehen die Optionen:
 - im Voraus
 - vorgehend (*anticipatory*), vor Programmstart
 - bedingtes Laden² aller Objekte gebundener Symbole
 - auf Anforderung
 - bei Bedarf (*on-demand*), nach Programmstart
 - speicherabgebildete Datei (*memory-mapped file*)
 - typisch in Verbindung mit virtuellem Speicher
- die **Einblendung** in den (log.) Programmadressraum erfolgt
 - im Voraus
 - statische Gemeinschaftsbibliothek
 - auf Anforderung
 - dynamische Gemeinschaftsbibliothek
 - mit Segmentattributen *read-only*, *copy on reference* oder *copy on write*
 - positionsabhängig (statisch) oder -unabhängig (dynamisch)

²Nur die Bibliotheksinhalte, die noch nicht geladen wurden.



■ `cat /proc/self/maps`³

```

address      perm offset  dev  inode      pathname
08048000-08052000 r-xp 00000000 08:01 236651    /bin/cat
08052000-08053000 rw-p 0000a000 08:01 236651    /bin/cat
090aa000-090cb000 rw-p 00000000 00:00 0         [heap]
b7450000-b7650000 r--p 00000000 08:01 180420    /usr/lib/locale/locale-archive
b7650000-b7651000 rw-p 00000000 00:00 0
b7651000-b778f000 r-xp 00000000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b778f000-b7790000 ---p 0013e000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b7790000-b7792000 r--p 0013e000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b7792000-b7793000 rw-p 00140000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b7793000-b7797000 rw-p 00000000 00:00 0
b779c000-b779d000 rw-p 00000000 00:00 0
b779d000-b779e000 r-xp 00000000 00:00 0         [vdso]
b779e000-b77b9000 r-xp 00000000 08:01 57284    /lib/ld-2.11.3.so
b77b9000-b77ba000 r--p 0001b000 08:01 57284    /lib/ld-2.11.3.so
b77ba000-b77bb000 rw-p 0001c000 08:01 57284    /lib/ld-2.11.3.so
bfe58000-bfe79000 rw-p 00000000 00:00 0         [stack]
    
```

- .so ■ *shared object*, Gemeinschaftsbibliothek (libc)
- Anlaufprozedur als dynamischer Binder (ld)
- libc und ld passend zu Bibliotheksversion 2.11.3
- Erlaubnis (perm): s *shared*, p *private (copy on write)*

³proc(5): systemabhängig, der Aufbau ist nicht überall identisch.

■ `cat /proc/self/maps`³

```

address      perm offset  dev  inode      pathname
08048000-08052000 r-xp 00000000 08:01 236651    /bin/cat
08052000-08053000 rw-p 0000a000 08:01 236651    /bin/cat
090aa000-090cb000 rw-p 00000000 00:00 0         [heap]
b7450000-b7650000 r--p 00000000 08:01 180420    /usr/lib/locale/locale-archive
b7650000-b7651000 rw-p 00000000 00:00 0
b7651000-b778f000 r-xp 00000000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b778f000-b7790000 ---p 0013e000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b7790000-b7792000 r--p 0013e000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b7792000-b7793000 rw-p 00140000 08:01 57293    /lib/libc-2.11.3.so
b7793000-b7797000 rw-p 00000000 00:00 0
b779c000-b779d000 rw-p 00000000 00:00 0
b779d000-b779e000 r-xp 00000000 00:00 0         [vdso]
b779e000-b77b9000 r-xp 00000000 08:01 57284    /lib/ld-2.11.3.so
b77b9000-b77ba000 r--p 0001b000 08:01 57284    /lib/ld-2.11.3.so
b77ba000-b77bb000 rw-p 0001c000 08:01 57284    /lib/ld-2.11.3.so
bfe58000-bfe79000 rw-p 00000000 00:00 0         [stack]
    
```

- .so ■ *shared object*, Gemeinschaftsbibliothek (libc)
- Anlaufprozedur als dynamischer Binder (ld)
- libc und ld passend zu Bibliotheksversion 2.11.3
- Erlaubnis (perm): s *shared*, p *private (copy on write)*

vdso ■ *virtual dynamic shared object*

- Einrichtung zur Systemaufrufbeschleunigung \rightsquigarrow `sysenter` [13]

³proc(5): systemabhängig, der Aufbau ist nicht überall identisch.



Positionsabhängigkeit

Eigenschaft von Programmtext, der abhängig von seiner absoluten Lage in einem Adressraum ausführbar ist



Positionsabhängigkeit

Eigenschaft von Programmtext, der abhängig von seiner absoluten Lage in einem Adressraum ausführbar ist

- manifestiert in der **Adressierungsart** zum Zugriff auf Befehlsoperanden
 - **absolute** (auch: direkte) **Adressierung**



Positionsabhängigkeit

Eigenschaft von Programmtext, der abhängig von seiner absoluten Lage in einem Adressraum ausführbar ist

- manifestiert in der **Adressierungsart** zum Zugriff auf Befehlsoperanden
 - **absolute** (auch: direkte) **Adressierung**

```
1 int fancy;  
2  
3 void sloth () {  
4     if (fancy)  
5         labor();  
6 }
```



Positionsabhängigkeit

Eigenschaft von Programmtext, der abhängig von seiner absoluten Lage in einem Adressraum ausführbar ist

- manifestiert in der **Adressierungsart** zum Zugriff auf Befehlsoperanden
 - **absolute** (auch: direkte) **Adressierung**

```
1 int fancy;
2
3 void sloth () {
4     if (fancy)
5         labor();
6 }
1 _sloth:
2     cmpl $0, _fancy # data
3     jne LBB1_2
4     ret
5 LBB1_2:
6     jmp _labor # text
```



Positionsabhängigkeit

Eigenschaft von Programmtext, der abhängig von seiner absoluten Lage in einem Adressraum ausführbar ist

- manifestiert in der **Adressierungsart** zum Zugriff auf Befehlsoperanden
 - **absolute** (auch: direkte) **Adressierung**

```
1 int fancy;                               1 _sloth:
2                                         2     cml $0, _fancy # data
3 void sloth () {                          3     jne LBB1_2
4     if (fancy)                            4     ret
5         labor();                          5 LBB1_2:
6 }                                         6     jmp _labor # text
```

- sprachlich artikuliert zur Programmier- oder Übersetzungszeit
 - unveränderlich an Adressen gebunden zur Binde- oder Ladezeit



Positionsabhängigkeit

Eigenschaft von Programmtext, der abhängig von seiner absoluten Lage in einem Adressraum ausführbar ist

- manifestiert in der **Adressierungsart** zum Zugriff auf Befehlsoperanden
 - **absolute** (auch: direkte) **Adressierung**

```
1 int fancy;                               1  _sloth:
2                                     2      cml $0, _fancy # data
3 void sloth () {                          3      jne LBB1_2
4     if (fancy)                             4      ret
5         labor();                            5  LBB1_2:
6 }                                           6      jmp  _labor      # text
```

- sprachlich artikuliert zur Programmier- oder Übersetzungszeit
 - unveränderlich an Adressen gebunden zur Binde- oder Ladezeit
- verankert im Programmiermodell der **Maschinenprogrammebene**
 - festgelegt durch das Adressraumkonzept und -modell des Betriebssystems
 - wenn es z.B. Gemeinschaftssegmenten einen festen Adressbereich zuweist
 - beeinflusst durch die Hardware-Vorgaben der Befehlssatzebene



Positionsunabhängigkeit I

Motiv: Verwendung von absoluter Adressierung (Text) oder absoluten Adressen (Daten) legt Programmbereiche fest



Positionsunabhängigkeit I

Motiv: Verwendung von absoluter Adressierung (Text) oder absoluten Adressen (Daten) legt Programmbereiche fest

- Relokation zur Laufzeit ist zwar möglich, aber oft nicht praktikabel
 - es müssen alle zu ändernden Programmadressen bekannt sein
 - für Programmtext stehen diese in der **Symboltabelle** des Binders⁴
 - für Programmdateien sind **dynamische Datenstrukturen** zu verfolgen
 - ↳ Programme werden dann nicht „unverfälscht“ (*pure*) ablaufen können

⁴Sofern nicht mittels `strip(1)` aus dem Objekt-/Lademodul entfernt.

Positionsunabhängigkeit I

Motiv: Verwendung von absoluter Adressierung (Text) oder absoluten Adressen (Daten) legt Programmbereiche fest

- Relokation zur Laufzeit ist zwar möglich, aber oft nicht praktikabel
 - es müssen alle zu ändernden Programmadressen bekannt sein !?
 - für Programmtext stehen diese in der **Symboltabelle** des Binders⁴
 - für Programmdateien sind **dynamische Datenstrukturen** zu verfolgen
 - ↳ Programme werden dann nicht „unverfälscht“ (*pure*) ablaufen können
 - aber nicht alle Adressen eines Programms liegen wirklich offen
 - z.B. dynamische Datenstrukturen des Laufzeitsystems (Halde, Stapel, ...)

⁴Sofern nicht mittels `strip(1)` aus dem Objekt-/Lademodul entfernt.

Positionsunabhängigkeit I

Motiv: Verwendung von absoluter Adressierung (Text) oder absoluten Adressen (Daten) legt Programmbereiche fest

- Relokation zur Laufzeit ist zwar möglich, aber oft nicht praktikabel
 - es müssen alle zu ändernden Programmadressen bekannt sein !?
 - für Programmtext stehen diese in der **Symboltabelle** des Binders⁴
 - für Programmdateien sind **dynamische Datenstrukturen** zu verfolgen
 - ↳ Programme werden dann nicht „unverfälscht“ (*pure*) ablaufen können
 - aber nicht alle Adressen eines Programms liegen wirklich offen
 - z.B. dynamische Datenstrukturen des Laufzeitsystems (Halde, Stapel, ...)
- die Programme selbst müssten frei verschiebbar ausgelegt sein
 - ausschließliche Verwendung der relativen Adressierung im Programmtext
 - indizierte Adressierung mit **Basisregister**: Adressdistanz zu einem Basiswert
 - Befehlszähler für Programmtext, Adressregister für Programmdateien
 - Anweisungen von Hand (☹) oder durch den Kompilierer (☺) generieren

⁴Sofern nicht mittels `strip(1)` aus dem Objekt-/Lademodul entfernt.

Positionsunabhängigkeit I

Motiv: Verwendung von absoluter Adressierung (Text) oder absoluten Adressen (Daten) legt Programmbereiche fest

- Relokation zur Laufzeit ist zwar möglich, aber oft nicht praktikabel
 - es müssen alle zu ändernden Programmadressen bekannt sein !?
 - für Programmtext stehen diese in der **Symboltabelle** des Binders⁴
 - für Programmdateien sind **dynamische Datenstrukturen** zu verfolgen
 - ↳ Programme werden dann nicht „unverfälscht“ (*pure*) ablaufen können
 - aber nicht alle Adressen eines Programms liegen wirklich offen
 - z.B. dynamische Datenstrukturen des Laufzeitsystems (Halde, Stapel, ...)
- die Programme selbst müssten frei verschiebbar ausgelegt sein
 - ausschließliche Verwendung der relativen Adressierung im Programmtext
 - indizierte Adressierung mit **Basisregister**: Adressdistanz zu einem Basiswert
 - Befehlszähler für Programmtext, Adressregister für Programmdateien
 - Anweisungen von Hand (☹) oder durch den Kompilierer (☺) generieren

↳ **position-independent code** (PIC): durchgängig indizierte Adressierung

⁴Sofern nicht mittels `strip(1)` aus dem Objekt-/Lademodul entfernt.

```
1 int count () {  
2     static int counter = 0;  
3     return counter++;  
4 }
```




```
1 int count () {
2     static int counter = 0;
3     return counter++;
4 }
```

```
1 _count: # gcc -O6 -static -m32 -S -fomit-frame-pointer
2     movl    _counter.1435, %eax
3     leal   1(%eax), %ecx
4     movl   %ecx, _counter.1435
5     ret
```



```
1 int count () {
2     static int counter = 0;
3     return counter++;
4 }
```

```
1 _count: # gcc -O6 -static -m32 -S -fomit-frame-pointer
2     movl    _counter.1435, %eax
3     leal   1(%eax), %ecx
4     movl   %ecx, _counter.1435
5     ret
```

```
1 _count: # gcc -O6 -static -m32 -S -fomit-frame-pointer -fPIC
2     call   L1$pb    # save program counter to stack5
3 L1$pb:   # this is basis for PC-relative addressing5
4     popl   %ecx    # load program counter from stack5
5     movl   _counter.1435-L1$pb(%ecx), %eax
6     leal   1(%eax), %edx
7     movl   %edx, _counter.1435-L1$pb(%ecx)
8     ret
```

⁵Funktionsprolog (Mac OSX) zur Bestimmung der eigenen Basisadresse.



Profiteur, wenn überhaupt, von positionsunabhängigem Kode ist die dynamische Gemeinschaftsbibliothek (*dynamic shared library*)

- deren Symbole erst zur Laufzeit an Adressen gebunden werden



Profiteur, wenn überhaupt, von positionsunabhängigem Kode ist die **dynamische Gemeinschaftsbibliothek** (*dynamic shared library*)

- deren Symbole erst zur Laufzeit an Adressen gebunden werden
 - durch einen bindenden Lader (*linking loader*) oder
 - dem dynamischen Binder (*dynamic linker*)



Zusammenhang zur Gemeinschaftsbibliothek I

Profiteur, wenn überhaupt, von positionsunabhängigem Kode ist die **dynamische Gemeinschaftsbibliothek** (*dynamic shared library*)

- deren Symbole erst zur Laufzeit an Adressen gebunden werden
 - durch einen bindenden Lader (*linking loader*) oder
 - dem dynamischen Binder (*dynamic linker*)
- deren Verortung im logischen Adressraum nicht fest vorgegeben ist



Zusammenhang zur Gemeinschaftsbibliothek I

Profiteur, wenn überhaupt, von positionsunabhängigem Code ist die **dynamische Gemeinschaftsbibliothek** (*dynamic shared library*)

- deren Symbole erst zur Laufzeit an Adressen gebunden werden
 - durch einen bindenden Lader (*linking loader*) oder
 - dem dynamischen Binder (*dynamic linker*)
- deren Verortung im logischen Adressraum nicht fest vorgegeben ist

Gegenstück dazu ist die – durch positionsunabhängigen Code unnötig belastete – **statische Gemeinschaftsbibliothek** (*static shared library*)

- deren Symbole bereits vor Laufzeit an Adressen gebunden werden
 - normalerweise durch den (statischen) Binder (*linker*)
- deren Verortung im logischen Adressraum damit fest vorgegeben ist



Profiteur, wenn überhaupt, von positionsunabhängigem Code ist die **dynamische Gemeinschaftsbibliothek** (*dynamic shared library*)

- deren Symbole erst zur Laufzeit an Adressen gebunden werden
 - durch einen bindenden Lader (*linking loader*) oder
 - dem dynamischen Binder (*dynamic linker*)
- deren Verortung im logischen Adressraum nicht fest vorgegeben ist

Gegenstück dazu ist die – durch positionsunabhängigen Code unnötig belastete – **statische Gemeinschaftsbibliothek** (*static shared library*)

- deren Symbole bereits vor Laufzeit an Adressen gebunden werden
 - normalerweise durch den (statischen) Binder (*linker*)
- deren Verortung im logischen Adressraum damit fest vorgegeben ist

Gemeinsamkeit:

- der Programmtext wird zur Lade- oder Laufzeit eingeblendet (S. 7)



Eigenschaft von Programmtext, der unabhängig von seiner absoluten Lage in einem logischen Adressraum ausführbar ist

- eine Art von Ortstransparenz, jedoch problemspezifisch ausgelegt



Eigenschaft von Programmtext, der unabhängig von seiner absoluten Lage in einem logischen Adressraum ausführbar ist

- eine Art von Ortstransparenz, jedoch problemspezifisch ausgelegt:
Ladezeit ■ Moment der Einblendung in den logischen Adressraum
 - zur Laufzeit können absolute Adressen gespeichert werden
 - ↪ Gemeinschaftsbibliothek, dynamisches Binden



Eigenschaft von Programmtext, der unabhängig von seiner absoluten Lage in einem logischen Adressraum ausführbar ist

- eine Art von Ortstransparenz, jedoch problemspezifisch ausgelegt:

Ladezeit ■ Moment der Einblendung in den logischen Adressraum
■ zur Laufzeit können absolute Adressen gespeichert werden

↪ Gemeinschaftsbibliothek, dynamisches Binden

Laufzeit ■ Moment des Befehlsabrufs aus dem logischen Adressraum
■ es dürfen nur relative Adressen gespeichert werden

↪ Kompaktifizierung, Speicherbereinigung, Migration (Umzug)



Eigenschaft von Programmtext, der unabhängig von seiner absoluten Lage in einem logischen Adressraum ausführbar ist

- eine Art von Ortstransparenz, jedoch problemspezifisch ausgelegt:
 - Ladezeit** ■ Moment der Einblendung in den logischen Adressraum
 - zur Laufzeit können absolute Adressen gespeichert werden
 - ↪ Gemeinschaftsbibliothek, dynamisches Binden
 - Laufzeit** ■ Moment des Befehlsabrufs aus dem logischen Adressraum
 - es dürfen nur relative Adressen gespeichert werden
 - ↪ Kompaktifizierung, Speicherbereinigung, Migration (Umzug)
- Umzugsfähigkeit von (dynamischen) Daten ist nicht vordergründig
 - obgleich *copy on write/reference* damit uneingeschränkt nutzbar wird:
 - wenn Nachrichteninhalte direkt auf Programmdatenstrukturen verweisen, die unarrangiert („*unmarshalled*“) und direkt übertragen werden sollen
 - um dynamische Daten beliebig im Empfangsadressraum platzieren zu können
 - ganz unabhängig von dynamisch gebundenem Programmtext



Eigenschaft von Programmtext, der unabhängig von seiner absoluten Lage in einem logischen Adressraum ausführbar ist

- eine Art von Ortstransparenz, jedoch problemspezifisch ausgelegt:
 - Ladezeit** ■ Moment der Einblendung in den logischen Adressraum
 - zur Laufzeit können absolute Adressen gespeichert werden
 - ↪ Gemeinschaftsbibliothek, dynamisches Binden
 - Laufzeit** ■ Moment des Befehlsabrufs aus dem logischen Adressraum
 - es dürfen nur relative Adressen gespeichert werden
 - ↪ Kompaktifizierung, Speicherbereinigung, Migration (Umzug)
- Umzugsfähigkeit von (dynamischen) Daten ist nicht vordergründig
 - obgleich *copy on write/reference* damit uneingeschränkt nutzbar wird:
 - wenn Nachrichteninhalte direkt auf Programmdatenstrukturen verweisen, die unarrangiert („*unmarshalled*“) und direkt übertragen werden sollen
 - um dynamische Daten beliebig im Empfangsadressraum platzieren zu können
 - ganz unabhängig von dynamisch gebundenem Programmtext
- positionsunabhängige dynamische Daten sind üblw. **Quelltextmerkmal**



```
1 chain_p find (chain_p list, chain_p item) {
2     while (list && (list != item))
3         list = list->link;
4     return list;
5 }
```



```
1 chain_p find (chain_p list, chain_p item) {
2     while (list && (list != item))
3         list = list->link;
4     return list;
5 }
```

```
1 _find:
2     movl 4(%esp), %eax
3     testl %eax, %eax
4     je LBB1_4
5     movl 8(%esp), %ecx
6 LBB1_2:
7     cmpl %ecx, %eax
8     je LBB1_4
9     movl (%eax), %eax
10    testl %eax, %eax
11    jne LBB1_2
12 LBB1_4:
13    ret
```



```
1 chain_p find (chain_p list, chain_p item) {
2     while (list && (list != item))
3         list = list->link;
4     return list;
5 }
```

```
1 _find:
2     movl 4(%esp), %eax
3     testl %eax, %eax
4     je LBB1_4
5     movl 8(%esp), %ecx
6 LBB1_2:
7     cmpl %ecx, %eax
8     je LBB1_4
9     movl (%eax), %eax
10    testl %eax, %eax
11    jne LBB1_2
12 LBB1_4:
13    ret
```

Indizierte Basisadressierung (-fPIID)

```
1 _find:
2     movl 4(%esp), %eax
3     testl %eax, %eax
4     je LBB1_4
5     movl 8(%esp), %ecx
6 LBB1_2:
7     cmpl %ecx, %eax
8     je LBB1_4
9     movl (%ebp,%eax), %eax
10    testl %eax, %eax
11    jne LBB1_2
12 LBB1_4:
13    ret
```



Positionsunabhängigkeit von Programmen ist sehr praktisch



Positionsunabhängigkeit von Programmen ist sehr praktisch – gibt es aber nicht für umsonst

There's no such thing as a free lunch!

- als Gegenleistung wird Geduld zur Ausführungszeit erwartet
- positionsunabhängige Programme werden langsamer laufen



Positionsunabhängigkeit von Programmen ist sehr praktisch – gibt es aber nicht für umsonst

There's no such thing as a free lunch!

- als Gegenleistung wird Geduld zur Ausführungszeit erwartet
 - positionsunabhängige Programme werden langsamer laufen
-
- Gründe des Performanzrückgangs von Gemeinschaftsbibliotheken [16]:
 - Ladezeit
 - i Verschiebung (*relocation*) der Bibliotheken
 - ii Auflösung (*resolution*) von Programmsymbolen



Positionsunabhängigkeit von Programmen ist sehr praktisch – gibt es aber nicht für umsonst

There's no such thing as a free lunch!

- als Gegenleistung wird Geduld zur Ausführungszeit erwartet
 - positionsunabhängige Programme werden langsamer laufen
-
- Gründe des Performanzrückgangs von Gemeinschaftsbibliotheken [16]:
 - Ladezeit i Verschiebung (*relocation*) der Bibliotheken
 - ii Auflösung (*resolution*) von Programmsymbolen
 - Laufzeit iii Entschleunigung durch Einsprungtabelle (S. 16)



Positionsunabhängigkeit von Programmen ist sehr praktisch – gibt es aber nicht für umsonst

There's no such thing as a free lunch!

- als Gegenleistung wird Geduld zur Ausführungszeit erwartet
 - positionsunabhängige Programme werden langsamer laufen
-
- Gründe des Performanzrückgangs von Gemeinschaftsbibliotheken [16]:
 - Ladezeit i Verschiebung (*relocation*) der Bibliotheken
 - ii Auflösung (*resolution*) von Programmsymbolen
 - Laufzeit iii Entschleunigung durch Einsprungtabelle (S. 16)
 - iv Mehraufwand durch Funktionsprolog (vgl. S. 11) PIC
 - v Mehraufwand durch indirekte Datenreferenzen PIC
 - vi Verlangsamung durch reservierte Adressregister PIC



Zusammenhang zur Gemeinschaftsbibliothek II

Positionsunabhängigkeit von Programmen ist sehr praktisch – gibt es aber nicht für umsonst

There's no such thing as a free lunch!

- als Gegenleistung wird Geduld zur Ausführungszeit erwartet
- positionsunabhängige Programme werden langsamer laufen

■ Gründe des Performanzrückgangs von Gemeinschaftsbibliotheken [16]:

Ladezeit i Verschiebung (*relocation*) der Bibliotheken

ii Auflösung (*resolution*) von Programmsymbolen

Laufzeit iii Entschleunigung durch Einsprungtabelle (S. 16)

iv Mehraufwand durch Funktionsprolog (vgl. S. 11) PIC

v Mehraufwand durch indirekte Datenreferenzen PIC

vi Verlangsamung durch reservierte Adressregister PIC

■ Optionen zur Verbesserung [16]:

- Zwischenspeicherung (i–ii), Positionsunabhängigkeit aufgeben (iv–vi)



Symbole wurden zur **Bindezeit** zwar an Adressen gebunden, aber die Objekte dazu werden erst zur **Ladezeit** verknüpft



Symbole wurden zur **Bindezeit** zwar an Adressen gebunden, aber die Objekte dazu werden erst zur **Ladezeit** verknüpft

- zwischenzeitliche Bibliotheksänderungen sind nicht unproblematisch
 - Text- und Datenadressen sind im Programm aufgelöst und eingebunden
 - Inkonsistenzen bewirken undefinierte Programmzustände zur **Laufzeit**



Symbole wurden zur **Bindezeit** zwar an Adressen gebunden, aber die Objekte dazu werden erst zur **Ladezeit** verknüpft

- zwischenzeitliche Bibliotheksänderungen sind nicht unproblematisch
 - Text- und Datenadressen sind im Programm aufgelöst und eingebunden
 - Inkonsistenzen bewirken undefinierte Programmzustände zur **Laufzeit**
- Beibehaltung direkter Adressierung von Bibliotheksartefakten bedingt **Mehrfachversion**
 - Vermerk der Versionsnummer zur Bindezeit *und*
 - Verknüpfung mit zgh. Bibliothek zur Ladezeit



Symbole wurden zur **Bindezeit** zwar an Adressen gebunden, aber die Objekte dazu werden erst zur **Ladezeit** verknüpft

- zwischenzeitliche Bibliotheksänderungen sind nicht unproblematisch
 - Text- und Datenadressen sind im Programm aufgelöst und eingebunden
 - Inkonsistenzen bewirken undefinierte Programmezustände zur **Laufzeit**
- Beibehaltung direkter Adressierung von Bibliotheksartefakten bedingt **Mehrfachversion**
 - Vermerk der Versionsnummer zur Bindezeit *und*
 - Verknüpfung mit zgh. Bibliothek zur Ladezeit
- Alternativlösung mit indirekter Adressierung bedeutet zweierlei: **Sprungtabelle**
 - von Sprungbefehlen, je 1 pro exportierte Routine⁶
 - am Anfang der Bibliothek (ab der ersten Seite)

⁶ISO-C99 hat 482 Funktionen, neben den 24 *header*-Dateien.



Symbole wurden zur **Bindezeit** zwar an Adressen gebunden, aber die Objekte dazu werden erst zur **Ladezeit** verknüpft

- zwischenzeitliche Bibliotheksänderungen sind nicht unproblematisch
 - Text- und Datenadressen sind im Programm aufgelöst und eingebunden
 - Inkonsistenzen bewirken undefinierte Programmzustände zur **Laufzeit**
- Beibehaltung direkter Adressierung von Bibliotheksartefakten bedingt **Mehrfachversion**
 - Vermerk der Versionsnummer zur Bindezeit *und*
 - Verknüpfung mit zgh. Bibliothek zur Ladezeit
- Alternativlösung mit indirekter Adressierung bedeutet zweierlei:
 - Sprungtabelle**
 - von Sprungbefehlen, je 1 pro exportierte Routine⁶
 - am Anfang der Bibliothek (ab der ersten Seite)
 - Gemeinschaftsblock**
 - von feldartigen Datenstrukturen bekannter Größe
 - ↔ *common block*: z.B. FILE*, errno, tzname[2]
 - der Sprungtabelle (seitenausgerichtet) folgend

⁶ISO-C99 hat 482 Funktionen, neben den 24 *header*-Dateien.



Symbole wurden zur **Bindezeit** zwar an Adressen gebunden, aber die Objekte dazu werden erst zur **Ladezeit** verknüpft

- zwischenzeitliche Bibliotheksänderungen sind nicht unproblematisch
 - Text- und Datenadressen sind im Programm aufgelöst und eingebunden
 - Inkonsistenzen bewirken undefinierte Programmzustände zur **Laufzeit**
- Beibehaltung direkter Adressierung von Bibliotheksartefakten bedingt **Mehrfachversion**
 - Vermerk der Versionsnummer zur Bindezeit *und*
 - Verknüpfung mit zgh. Bibliothek zur Ladezeit
- Alternativlösung mit indirekter Adressierung bedeutet zweierlei:
 - Sprungtabelle** ■ von Sprungbefehlen, je 1 pro exportierte Routine⁶
 - am Anfang der Bibliothek (ab der ersten Seite)
 - Gemeinschaftsblock** ■ von feldartigen Datenstrukturen bekannter Größe
 - ↔ *common block*: z.B. FILE*, errno, tzname[2]
 - der Sprungtabelle (seitenausgerichtet) folgend
- beide Ansätze definieren **Pufferzonen** hinter den Bibliotheksbereichen

⁶ISO-C99 hat 482 Funktionen, neben den 24 *header*-Dateien.



Hauptschwierigkeit jedoch besteht in der Festlegung des jeweiligen Adressbereichs einer jeden Bibliothek

- jede Gemeinschaftsbibliothek definiert einen festen Adressbereich
 - nicht überlappend, ggf. nicht identisch in allen Programmadressräumen



Hauptschwierigkeit jedoch besteht in der Festlegung des jeweiligen Adressbereichs einer jeden Bibliothek

- jede Gemeinschaftsbibliothek definiert einen festen Adressbereich
 - nicht überlappend, ggf. nicht identisch in allen Programmadressräumen

Linux ab 0x60000000, versionsabhängig⁷

BSD ab 0xa0000000 systemspezifische Bibliotheken und
ab 0xa0800000 anbieterspezifische Bibliotheken

⁷Linux 2.6 unterstützt nur noch dynamische Gemeinschaftsbibliotheken.

Hauptschwierigkeit jedoch besteht in der Festlegung des jeweiligen Adressbereichs einer jeden Bibliothek

- jede Gemeinschaftsbibliothek definiert einen festen Adressbereich
 - nicht überlappend, ggf. nicht identisch in allen Programmadressräumen

Linux ab 0x60000000, versionsabhängig⁷

BSD ab 0xa0000000 systemspezifische Bibliotheken und
ab 0xa0800000 anbieterspezifische Bibliotheken

Windows jede DLL spezifiziert eine RVA (*relative virtual address*) als gewünschte Basisadresse (0x10000000 für Visual C++)

- falls frei, platziert der Binder die DLL wie gewünscht
- falls belegt, wird die Umplatzierung (*relocation*) versucht

⁷Linux 2.6 unterstützt nur noch dynamische Gemeinschaftsbibliotheken.

Hauptschwierigkeit jedoch besteht in der Festlegung des jeweiligen Adressbereichs einer jeden Bibliothek

- jede Gemeinschaftsbibliothek definiert einen festen Adressbereich
 - nicht überlappend, ggf. nicht identisch in allen Programmadressräumen
 - Linux ab 0x60000000, versionsabhängig⁷
 - BSD ab 0xa0000000 systemspezifische Bibliotheken und ab 0xa0800000 anbieterspezifische Bibliotheken
 - Windows jede DLL spezifiziert eine RVA (*relative virtual address*) als gewünschte Basisadresse (0x10000000 für Visual C++)
 - falls frei, platziert der Binder die DLL wie gewünscht
 - falls belegt, wird die Umplatzierung (*relocation*) versucht
 - bestimmt durch das Programmiermodell der Maschinenprogrammzebene

⁷Linux 2.6 unterstützt nur noch dynamische Gemeinschaftsbibliotheken.



Hauptschwierigkeit jedoch besteht in der Festlegung des jeweiligen Adressbereichs einer jeden Bibliothek

- jede Gemeinschaftsbibliothek definiert einen festen Adressbereich
 - nicht überlappend, ggf. nicht identisch in allen Programmadressräumen
 - Linux ab 0x60000000, versionsabhängig⁷
 - BSD ab 0xa0000000 systemspezifische Bibliotheken und ab 0xa0800000 anbieterspezifische Bibliotheken
 - Windows jede DLL spezifiziert eine RVA (*relative virtual address*) als gewünschte Basisadresse (0x10000000 für Visual C++)
 - falls frei, platziert der Binder die DLL wie gewünscht
 - falls belegt, wird die Umplatzierung (*relocation*) versucht
 - bestimmt durch das Programmiermodell der Maschinenprogrammebene
- konfliktfreie Abbildung im Voraus (*pre-mapping*) ist nicht garantiert

Although it's possible to check mechanically that libraries don't overlap, assigning address space to libraries is a black art. [16]

⁷Linux 2.6 unterstützt nur noch dynamische Gemeinschaftsbibliotheken.



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus

- Verortung im logischen Adressraum kann selbstbestimmt sein, also vorgegeben durch **Bibliothekseigenschaften**



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus

- Verortung im logischen Adressraum kann selbstbestimmt sein, also vorgegeben durch **Bibliothekseigenschaften vorgebunden**
 - bedingt positionsabhängiger Code \leadsto DLL (S. 17)
 - Umplatzierung, falls der vorgegebene Bereich belegt ist
 - \hookrightarrow Mitbenutzung nur für dieselben Programminkarnationen
 - \hookrightarrow nicht aber für Inkarnationen verschiedener Programme **!!!**



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus

- Verortung im logischen Adressraum kann selbstbestimmt sein, also vorgegeben durch **Bibliothekseigenschaften**

vorgebunden ■ bedingt positionsabhängiger Code \leadsto DLL (S. 17)
■ Umplatzierung, falls der vorgegebene Bereich belegt ist

↪ Mitbenutzung nur für dieselben Programminkarnationen

↪ nicht aber für Inkarnationen verschiedener Programme !!!

sonst ■ positionsunabhängiger Code \leadsto SunOS, ELF [25, 24]



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus

- Verortung im logischen Adressraum kann selbstbestimmt sein, also vorgegeben durch **Bibliothekseigenschaften vorgebunden**
 - bedingt positionsabhängiger Code \leadsto DLL (S. 17)
 - Umplatzierung, falls der vorgegebene Bereich belegt ist
 - \hookrightarrow Mitbenutzung nur für dieselben Programminkarnationen
 - \hookrightarrow nicht aber für Inkarnationen verschiedener Programme **!!!**
 - **sonst** positionsunabhängiger Code \leadsto SunOS, ELF [25, 24]
- Einblendung scheitert, falls kein (anderer) passender Bereich verfügbar ist



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus

- Verortung im logischen Adressraum kann selbstbestimmt sein, also vorgegeben durch **Bibliothekseigenschaften vorgebunden**
 - bedingt positionsabhängiger Code \leadsto DLL (S. 17)
 - Umplatzierung, falls der vorgegebene Bereich belegt ist
 - \hookrightarrow Mitbenutzung nur für dieselben Programminkarnationen
 - \hookrightarrow nicht aber für Inkarnationen verschiedener Programme !!!
 - **sonst** positionsunabhängiger Code \leadsto SunOS, ELF [25, 24]
- Einblendung scheitert, falls kein (anderer) passender Bereich verfügbar ist
- das Betriebssystem definiert ggf. weitere Vorgaben zur Verortung, in dem es einen **reservierten Bibliotheksbereich** vorsieht
 - typischerweise zwischen Stapel und Halde liegend (Linux, vgl. S. 8)
 - innerhalb dieses Bereiches sind Bibliotheken bedingt (s.o.) frei platzierbar



Großteil des Bindevorgangs wird aufgeschoben bis zur **Startzeit** eines Programms und ggf. auch darüberhinaus

- Verortung im logischen Adressraum kann selbstbestimmt sein, also vorgegeben durch **Bibliothekseigenschaften vorgebunden**
 - bedingt positionsabhängiger Code \leadsto DLL (S. 17)
 - Umplatzierung, falls der vorgegebene Bereich belegt ist
 - \hookrightarrow Mitbenutzung nur für dieselben Programminkarnationen
 - \hookrightarrow nicht aber für Inkarnationen verschiedener Programme !!!
 - **sonst** positionsunabhängiger Code \leadsto SunOS, ELF [25, 24]
 - Einblendung scheitert, falls kein (anderer) passender Bereich verfügbar ist
 - das Betriebssystem definiert ggf. weitere Vorgaben zur Verortung, in dem es einen **reservierten Bibliotheksbereich** vorsieht
 - typischerweise zwischen Stapel und Halde liegend (Linux, vgl. S. 8)
 - innerhalb dieses Bereiches sind Bibliotheken bedingt (s.o.) frei platzierbar
- \hookrightarrow echte Segmentierung hat diese Einschränkungen nicht \leadsto Multics [20]



Durchführung des Bindevorgangs zur **Laufzeit** des Programms, und zwar im Moment der wirklichen Benötigung

- der gewünschten Bibliothek
 - explizit, durch **programmiertes Nachladen**
 - `dlopen()` in Linux, `LoadLibrary()` in Windows
 - intransparent für den Prozess, in jeder Hinsicht
 - in der Benutzung ähnlich zur Technik der Überlagerung (*overlay*, [22])
 - vorwegnehmend ausgelöst durch Prozedur- oder Systemaufruf
- einer Routine des Programms selbst – oder eines anderen Programms
 - implizit, durch **partielle Interpretation**
 - „Bindungsfalle“ (*link trap*) in Multics [20]
 - transparent für den Prozess, in funktionaler Hinsicht
 - auch bei zwischenzeitlicher Verdrängung eines nachgeladenen Objektes
 - ausnahmebedingt ausgelöst durch synchrone Programmunterbrechung
- die Adressen bleiben **bis zum Aufruf** (einer Routine) **ungebunden**



Durchführung des Bindevorgangs zur **Laufzeit** des Programms, und zwar im Moment der wirklichen Benötigung

- der gewünschten Bibliothek
 - explizit, durch **programmiertes Nachladen**
 - `dlopen()` in Linux, `LoadLibrary()` in Windows
 - intransparent für den Prozess, in jeder Hinsicht
 - in der Benutzung ähnlich zur Technik der Überlagerung (*overlay*, [22])
 - vorwegnehmend ausgelöst durch Prozedur- oder Systemaufruf
- einer Routine des Programms selbst – oder eines anderen Programms
 - implizit, durch **partielle Interpretation**
 - „Bindungsfalle“ (*link trap*) in Multics [20]
 - transparent für den Prozess, in funktionaler Hinsicht
 - auch bei zwischenzeitlicher Verdrängung eines nachgeladenen Objektes
 - ausnahmebedingt ausgelöst durch synchrone Programmunterbrechung
- die Adressen bleiben **bis zum Aufruf** (einer Routine) **ungebunden**



Durchführung des Bindevorgangs zur **Laufzeit** des Programms, und zwar im Moment der wirklichen Benötigung

- der gewünschten Bibliothek
 - explizit, durch **programmiertes Nachladen**
 - `dlopen()` in Linux, `LoadLibrary()` in Windows
 - intransparent für den Prozess, in jeder Hinsicht
 - in der Benutzung ähnlich zur Technik der Überlagerung (*overlay*, [22])
 - vorwegnehmend ausgelöst durch Prozedur- oder Systemaufruf
- einer Routine des Programms selbst – oder eines anderen Programms
 - implizit, durch **partielle Interpretation**
 - „Bindungsfalle“ (*link trap*) in Multics [20]
 - transparent für den Prozess, in funktionaler Hinsicht
 - auch bei zwischenzeitlicher Verdrängung eines nachgeladenen Objektes
 - ausnahmebedingt ausgelöst durch synchrone Programmunterbrechung
- die Adressen bleiben **bis zum Aufruf** (einer Routine) **ungebunden**



Durchführung des Bindevorgangs zur **Laufzeit** des Programms, und zwar im Moment der wirklichen Benötigung

- der gewünschten Bibliothek
 - explizit, durch **programmiertes Nachladen**
 - `dlopen()` in Linux, `LoadLibrary()` in Windows
 - intransparent für den Prozess, in jeder Hinsicht
 - in der Benutzung ähnlich zur Technik der Überlagerung (*overlay*, [22])
 - vorwiegend ausgelöst durch Prozedur- oder Systemaufruf
- einer Routine des Programms selbst – oder eines anderen Programms
 - implizit, durch **partielle Interpretation**
 - „Bindungsfalle“ (*link trap*) in Multics [20]
 - transparent für den Prozess, in funktionaler Hinsicht
 - auch bei zwischenzeitlicher Verdrängung eines nachgeladenen Objektes
 - ausnahmsweise ausgelöst durch synchrone Programmunterbrechung
- die Adressen bleiben **bis zum Aufruf** (einer Routine) **ungebunden**



Einleitung

Gemeinschaftsbibliothek

Binden und Laden

Textverbände

Multics

Einführung

GE-645

Dynamisches Binden

Zusammenfassung



- 1963 ■ *Project MAC (Mathematics and Computation, MIT)*, DARPA
 - ein Ziel war die Entwicklung des Nachfolgers von CTSS [4]
- 1964 ■ General Electric (GE) übernimmt Bull, frz. Rechnerhersteller



- 1963 ■ *Project MAC (Mathematics and Computation, MIT)*, DARPA
 - ein Ziel war die Entwicklung des Nachfolgers von CTSS [4]
- 1964 ■ General Electric (GE) übernimmt Bull, frz. Rechnerhersteller
- Multics
 - 1965 ■ FJCC, Entwurfsideen und Grundprinzipien [6, 9, 26, 7, 21, 8]
 - eigene Sitzung: *A new remote accessed man-machine system*
 - 1967 ■ Januar, Erstinstallation (GE-645) am MIT
 - 1969 ■ April, Rückzug der Bell Laboratorien aus dem Projekt
 - Herbst, Mehrbenutzerbetrieb (*timesharing*) am MIT
 - 1970 ■ Honeywell übernimmt die Rechnersparte von General Electric
 - GE-600 Serie wird zur Honeywell 6000-Serie
 - 1973 ■ Januar, Honeywell 6180: zweite Generation Multics-Maschine
 - 1985 ■ Juli, Honeywell stellt weitere Entwicklungen (im 6. Versuch) ein
 - August, Sicherheitszertifizierung der Kategorie B2 [15]
 - 2000 ■ 30. Oktober, Betriebseinstellung der letzten Installation
 - DND-H, Canadian Department of National Defence, Halifax
 - 2006 ■ Offenlegung des Quelltextes durch Bull SAS [18]



- neue Ideen
 - Verschmelzung von Dateien und Arbeitsspeicher zum **einstufigen Speicher**
 - bedarfsorientierte Programmausführung durch **dynamisches Binden**
 - benutzerorientiertes **hierarchisches** (baumstrukturiertes) **Dateisystem**
 - von Anbeginn als **sicheres System** entworfen (ringorientierter Schutz)
 - äußerst energische, **mitlaufende** (*on-line*) Hardware-**Rekonfigurierung**



- neue Ideen
 - Verschmelzung von Dateien und Arbeitsspeicher zum **einstufigen Speicher**
 - bedarfsorientierte Programmausführung durch **dynamisches Binden**
 - benutzerorientiertes **hierarchisches** (baumstrukturiertes) **Dateisystem**
 - von Anbeginn als **sicheres System** entworfen (ringorientierter Schutz)
 - äußerst energische, **mitlaufende** (*on-line*) Hardware-**Rekonfigurierung**
- andere Merkmale: bis 1973, 150 PJ Entwicklung und 50 PJ Pflege [5]



- neue Ideen
 - Verschmelzung von Dateien und Arbeitsspeicher zum **einstufigen Speicher**
 - bedarfsorientierte Programmausführung durch **dynamisches Binden**
 - benutzerorientiertes **hierarchisches** (baumstrukturiertes) **Dateisystem**
 - von Anbeginn als **sicheres System** entworfen (ringorientierter Schutz)
 - äußerst energische, **mitlaufende** (*on-line*) Hardware-**Rekonfigurierung**
- andere Merkmale: bis 1973, 150 PJ Entwicklung und 50 PJ Pflege [5]
 - Mehrsprachensystem, implementiert in:
 - PL/1 [3, 12], aus Gründen der Produktivität nicht Portabilität [10] und
 - ALM [11], für zwingend hardwarebezogene Operationen



- neue Ideen
 - Verschmelzung von Dateien und Arbeitsspeicher zum **einstufigen Speicher**
 - bedarfsorientierte Programmausführung durch **dynamisches Binden**
 - benutzerorientiertes **hierarchisches** (baumstrukturiertes) **Dateisystem**
 - von Anbeginn als **sicheres System** entworfen (ringorientierter Schutz)
 - äußerst energische, **mitlaufende** (*on-line*) Hardware-**Rekonfigurierung**
- andere Merkmale: bis 1973, 150 PJ Entwicklung und 50 PJ Pflege [5]
 - Mehrsprachensystem, implementiert in:
 - PL/1 [3, 12], aus Gründen der Produktivität nicht Portabilität [10] und
 - ALM [11], für zwingend hardwarebezogene Operationen
 - kompaktes residentes Hauptsteuerprogramm (*supervisor*)
 - ~ 30 KW Prozedur- und (für 55 Benutzer) 36 KW Daten-/Pufferbereiche [5]



- neue Ideen
 - Verschmelzung von Dateien und Arbeitsspeicher zum **einstufigen Speicher**
 - bedarfsorientierte Programmausführung durch **dynamisches Binden**
 - benutzerorientiertes **hierarchisches** (baumstrukturiertes) **Dateisystem**
 - von Anbeginn als **sicheres System** entworfen (ringorientierter Schutz)
 - äußerst energische, **mitlaufende** (*on-line*) Hardware-**Rekonfigurierung**
- andere Merkmale: bis 1973, 150 PJ Entwicklung und 50 PJ Pflege [5]
 - Mehrsprachensystem, implementiert in:
 - PL/1 [3, 12], aus Gründen der Produktivität nicht Portabilität [10] und
 - ALM [11], für zwingend hardwarebezogene Operationen
 - kompaktes residentes Hauptsteuerprogramm (*supervisor*)
 - ~ 30 KW Prozedur- und (für 55 Benutzer) 36 KW Daten-/Pufferbereiche [5]
 - gegenüber SELinux [19] schlanke vertrauenswürdige Rechenbasis⁸ [14]
 - ~ 628 KB Sicherheitskern (Ring 0) vs. 1767 KB nur für das Sicherheitsmodul
 - ~ zweieinhalbfach kleinere TCB, den Linux-Kern selbst nicht eingeschlossen

⁸ *trusted computing base*, TCB

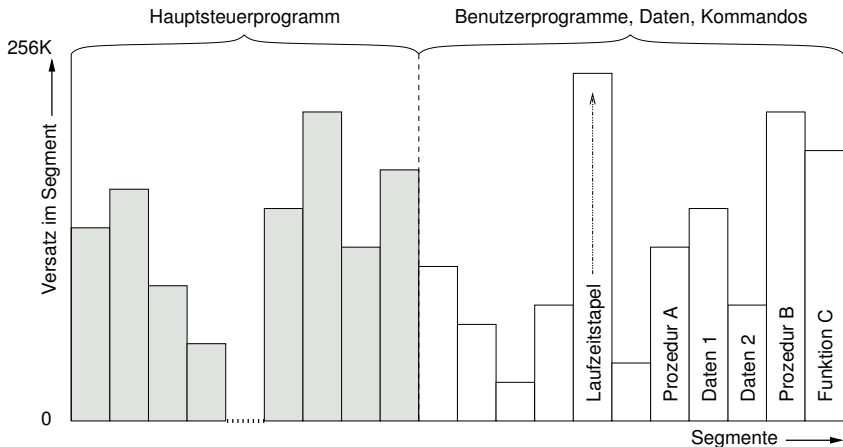


- neue Ideen
 - Verschmelzung von Dateien und Arbeitsspeicher zum **einstufigen Speicher**
 - bedarfsorientierte Programmausführung durch **dynamisches Binden**
 - benutzerorientiertes **hierarchisches** (baumstrukturiertes) **Dateisystem**
 - von Anbeginn als **sicheres System** entworfen (ringorientierter Schutz)
 - äußerst energische, **mitlaufende** (*on-line*) Hardware-**Rekonfigurierung**
- andere Merkmale: bis 1973, 150 PJ Entwicklung und 50 PJ Pflege [5]
 - Mehrsprachensystem, implementiert in:
 - PL/1 [3, 12], aus Gründen der Produktivität nicht Portabilität [10] und
 - ALM [11], für zwingend hardwarebezogene Operationen
 - kompaktes residentes Hauptsteuerprogramm (*supervisor*)
 - ~ 30 KW Prozedur- und (für 55 Benutzer) 36 KW Daten-/Pufferbereiche [5]
 - gegenüber SELinux [19] schlanke vertrauenswürdige Rechenbasis⁸ [14]
 - ~ 628 KB Sicherheitskern (Ring 0) vs. 1767 KB nur für das Sicherheitsmodul
 - ~ zweieinhalbfach kleinere TCB, den Linux-Kern selbst nicht eingeschlossen
 - inhärent, stark querschneidend abhängig vom GE-645/Honeywell 6180

⁸ *trusted computing base*, TCB



Zweidimensionaler Prozessadressraum



- max. 2^{18} Segmente, jew. max. $2^{18} * 4 = 2^{20}$ Bytes, pro Adressraum
- letztere teilen sich die Hauptsteuerprogrammsegmente (*supervisor*)



Großrechnerfamilie mit 36-Bit Systemzentraleinheit (*mainframe*)

- Basis bildete die bis auf vier Prozessoren ausbaufähige GE-635
 - symmetrisches Multiprozessorsystem (*symmetric multiprocessing, SMP*)
 - Rechnersystem der zweiten Generation: Transistor-Transistor-Logik (TTL)
 - 36-Bit wortorientierte Maschine, 72-Bit Speicherpfad, 18-Bit Adressen



Großrechnerfamilie mit 36-Bit Systemzentraleinheit (*mainframe*)

- Basis bildete die bis auf vier Prozessoren ausbaufähige GE-635
 - symmetrisches Multiprozessorsystem (*symmetric multiprocessing, SMP*)
 - Rechnersystem der zweiten Generation: Transistor-Transistor-Logik (TTL)
 - 36-Bit wortorientierte Maschine, 72-Bit Speicherpfad, 18-Bit Adressen
- GE-645 [9]: speziell für Multics modifizierte GE-635
 - seitennummerierte Segmentierung (*paged segmentation*)
 - zweiteilige Adresse: 1. Segment- und 2. Wortnummer, jew. $[0, 2^{18} - 1]$



Großrechnerfamilie mit 36-Bit Systemzentraleinheit (*mainframe*)

- Basis bildete die bis auf vier Prozessoren ausbaufähige GE-635
 - symmetrisches Multiprozessorsystem (*symmetric multiprocessing*, SMP)
 - Rechnersystem der zweiten Generation: Transistor-Transistor-Logik (TTL)
 - 36-Bit wortorientierte Maschine, 72-Bit Speicherpfad, 18-Bit Adressen
- GE-645 [9]: speziell für Multics modifizierte GE-635
 - seitennummerierte Segmentierung (*paged segmentation*)
 - zweiteilige Adresse: 1. Segment- und 2. Wortnummer, jew. $[0, 2^{18} - 1]$
 - implizite und explizite Gestaltung von effektiven (zweiteiligen) Adressen
 - ausgewählt über Steuerschalter (Bit 29) im Befehlswort
 - Prozedurbasisregister oder eines von acht Adressbasisregistern (24-Bit)
 - bei Bedarf Paarbildung letzterer zu vier (2×24 -Bit) „Zeigerregister“⁹
 - segmentierte Adresse als Speicherindirektwort (ITS, ITB) darstellbar
 - zusätzlich zu (GE-635) *master* und *slave* auch Ausführungsmodus *absolute*

⁹Effektiv nur 2×18 -Bit, jeweils für Segmentnummer und Adresse.



Großrechnerfamilie mit 36-Bit Systemzentraleinheit (*mainframe*)

- Basis bildete die bis auf vier Prozessoren ausbaufähige GE-635
 - symmetrisches Multiprozessorsystem (*symmetric multiprocessing*, SMP)
 - Rechnersystem der zweiten Generation: Transistor-Transistor-Logik (TTL)
 - 36-Bit wortorientierte Maschine, 72-Bit Speicherpfad, 18-Bit Adressen
- GE-645 [9]: speziell für Multics modifizierte GE-635
 - seitennummerierte Segmentierung (*paged segmentation*)
 - zweiteilige Adresse: 1. Segment- und 2. Wortnummer, jew. $[0, 2^{18} - 1]$
 - implizite und explizite Gestaltung von effektiven (zweiteiligen) Adressen
 - ausgewählt über Steuerschalter (Bit 29) im Befehlswort
 - Prozedurbasisregister oder eines von acht Adressbasisregistern (24-Bit)
 - bei Bedarf Paarbildung letzterer zu vier (2×24 -Bit) „Zeigerregister“⁹
 - segmentierte Adresse als Speicherindirektwort (ITS, ITB) darstellbar
 - zusätzlich zu (GE-635) *master* und *slave* auch Ausführungsmodus *absolute*
 - 512 KW \approx 2 MiB Hauptspeicher – riesig für damalige Verhältnisse

⁹Effektiv nur 2×18 -Bit, jeweils für Segmentnummer und Adresse.

Großrechnerfamilie mit 36-Bit Systemzentraleinheit (*mainframe*)

- Basis bildete die bis auf vier Prozessoren ausbaufähige GE-635
 - symmetrisches Multiprozessorsystem (*symmetric multiprocessing*, SMP)
 - Rechnersystem der zweiten Generation: Transistor-Transistor-Logik (TTL)
 - 36-Bit wortorientierte Maschine, 72-Bit Speicherpfad, 18-Bit Adressen
- GE-645 [9]: speziell für Multics modifizierte GE-635
 - seitennummerierte Segmentierung (*paged segmentation*)
 - zweiteilige Adresse: 1. Segment- und 2. Wortnummer, jew. $[0, 2^{18} - 1]$
 - implizite und explizite Gestaltung von effektiven (zweiteiligen) Adressen
 - ausgewählt über Steuerschalter (Bit 29) im Befehlswort
 - Prozedurbasisregister oder eines von acht Adressbasisregistern (24-Bit)
 - bei Bedarf Paarbildung letzterer zu vier (2×24 -Bit) „Zeigerregister“⁹
 - segmentierte Adresse als Speicherindirektwort (ITS, ITB) darstellbar
 - zusätzlich zu (GE-635) *master* und *slave* auch Ausführungsmodus *absolute*
 - 512 KW \approx 2 MiB Hauptspeicher – riesig für damalige Verhältnisse
- Betriebssysteme für GE-635 waren GECOS [1] und Mark II bzw. III

⁹Effektiv nur 2×18 -Bit, jeweils für Segmentnummer und Adresse.



```

000 0000000111111111 112222222 222 333333
012 345678901234567 890123456 789 012345
+---+-----+-----+---+-----+
|BR |   ADDRESS   |  OPCODE  |UIB| TAG  |
+---+-----+-----+---+-----+

```

| Field Name | Size | Purpose |
|------------|---------|---|
| BR | 3 bits | base register; 0-7 |
| ADDRESS | 15 bits | word address; 0-32767 (32KW) |
| OPCODE | 9 bits | instruction opcode |
| U | 1 bit | unused |
| I | 1 bit | interrupt inhibit flag |
| B | 1 bit | 0=no base register (GE-635 form) 1=base register (GE-645 form) |
| TAG | 6 bits | index/indirect type |

- um dynamisches Binden durch Multics auszulösen:
 - i ist der Schalter im B-Feld auf 1 gesetzt *und*
 - ii Basisregister BR adressiert ein [Speicherindirektdoppelwort](#) \leadsto S. 27
 - effektiv vier [Basisregisterpaare](#), die jew. eine zweiteilige Adresse speichern



```

01 2345
+--+-----+
|Tm| Td |
+--+-----+

```

| | | |
|----|--------|------------------------------------|
| Tm | 2 bits | Tag modifier |
| | | 00 R-type register, no indirect |
| | | 01 RI-type register then indirect |
| | | 10 IT-type indirect then tally |
| | | 11 IR-type indirect then register |
| Td | 4 bits | Tag descriptor |
| | | 0ccc ccc is a 3-bit code |
| | | 1rrr rrr is a 3-bit index register |

- Typ RI: *multilevel indexed indirect addressing*¹⁰ [20, S. 27]

¹⁰rrr im Etikettdescriptor identifiziert das Indexregister.



```

01 2345
+--+-----+
|Tm| Td |
+--+-----+

```

| | | |
|----|--------|------------------------------------|
| Tm | 2 bits | Tag modifier |
| | | 00 R-type register, no indirect |
| | | 01 RI-type register then indirect |
| | | 10 IT-type indirect then tally |
| | | 11 IR-type indirect then register |
| Td | 4 bits | Tag descriptor |
| | | 0ccc ccc is a 3-bit code |
| | | 1rrr rrr is a 3-bit index register |

- Typ **RI**: *multilevel indexed indirect addressing*¹⁰ [20, S. 27]
- das Etikett des Leitwortes (Wort 0) gibt den weiteren Verlauf vor:
 - ITS** ■ *indirect to segment* \leadsto Zugriff, gesteuert durch TAG von Wort 1
 - FT2** ■ *fault tag 2* \leadsto Auslösung eines Bindefehlers (*trap*)
- beide Ausprägungen realisiert durch freie Nummern im Etikettfeld

¹⁰ rrr im Etikettdescriptor identifiziert das Indexregister.



```

000000000011111111 112222222 222 333333
012345678901234567 890123456 789 012345
+-----+-----+---+-----+
| SEGMENT #          | UNUSED |UUU| ITS |      WORD 0
+-----+-----+---+-----+

000000000011111111 112222222 222 333333
012345678901234567 890123456 789 012345
+-----+-----+---+-----+
| ADDRESS            | UNUSED |UUU| TAG |      WORD 1
+-----+-----+---+-----+

```

| Field Name | Size | Purpose |
|------------|---------|--------------------------|
| ----- | ----- | ----- |
| SEGMENT # | 18 bits | segment number; 0-262143 |
| UNUSED | 9 bits | unused |
| UUU | 3 bits | unused |
| ITS | 6 bits | '43'b3 |
| ADDRESS | 18 bits | word address; 0-262143 |
| UNUSED | 9 bits | unused |
| UUU | 3 bits | unused |
| TAG | 6 bits | index/indirect type |



Adressbasisregister (ABR), die durch Befehle vom Typ 1 aktiviert und zur Programmierung sichtbar wurden¹¹

- das 3-Bit-Feld wird auch als **Segmentetikett** (*segment tag*) bezeichnet
 - effektiv vier Registerpaare

¹¹Befehlsbit 29 (B) ist 1, vgl. S. 25.



Adressbasisregister (ABR), die durch Befehle vom Typ 1 aktiviert und zur Programmierung sichtbar wurden¹¹

- das 3-Bit-Feld wird auch als **Segmentetikett** (*segment tag*) bezeichnet
 - effektiv vier Registerpaare, in Multics wie folgt benannt bzw. verwendet:

| | | |
|-----|--|-----------------------|
| 0–1 | Argumentenliste (<i>argument pointer/base</i>) | AP & AB |
| 2–3 | allgemeine Basis (<i>base pointer/base</i>) | BP & BB |
| 4–5 | Bindungssegment (<i>linkage pointer/base</i>) | LP & LB |
| 6–7 | Stapelsegment (<i>stack pointer/base</i>) | SP & SB |

¹¹Befehlsbit 29 (B) ist 1, vgl. S. 25.



Adressbasisregister (ABR), die durch Befehle vom Typ 1 aktiviert und zur Programmierung sichtbar wurden¹¹

- das 3-Bit-Feld wird auch als **Segmentetikett** (*segment tag*) bezeichnet
 - effektiv vier Registerpaare, in Multics wie folgt benannt bzw. verwendet:

| | | |
|-----|--|-----------------------|
| 0–1 | Argumentenliste (<i>argument pointer/base</i>) | AP & <i>AB</i> |
| 2–3 | allgemeine Basis (<i>base pointer/base</i>) | BP & <i>BB</i> |
| 4–5 | Bindungssegment (<i>linkage pointer/base</i>) | LP & <i>LB</i> |
| 6–7 | Stapelsegment (<i>stack pointer/base</i>) | SP & <i>SB</i> |

- die **Paarbildung** steuert ein Kontrollfeld (Bits 18–23) im ABR:

```

012345678901234567 890 1 23
+-----+-----+
| ADDRESS/NAME |PAL|X|UU|
+-----+-----+
    
```

pal (dt. Kumpel)

Partnerregisternamen bzw. -nummer

X bestimmt die Verwendung von Bits 0–17 und Bits 18–20:

- 0 \mapsto segmentlokale Wortadresse, *pal* ist ABR mit Segmentnamen
- 1 \mapsto globaler Segmentname (externe Basis), *pal* bleibt ungenutzt

¹¹Befehlsbit 29 (B) ist 1, vgl. S. 25.



Adressen sind zweiteilige Gebilde, bestehend aus (1) **Segmentnummer** und (2) **Wortnummer** innerhalb des Segments¹²

¹²Segmentnummer $\hat{=}$ Segmentname, Wortnummer $\hat{=}$ Wortadresse.

Adressen sind zweiteilige Gebilde, bestehend aus (1) **Segmentnummer** und (2) **Wortnummer** innerhalb des Segments¹²

- Einrichtungen zur Bildung einer „generalisierten Adresse“ daraus:
 - i Basisadresse der Segmentdeskriptortabelle (*descriptor base register, DBR*)
 - ii Segmentnummer der aktuellen Prozedur (*procedure base register, PBR*)
 - zusammen mit dem PC, einem Adressbasisregisterpaar nicht unähnlich
 - iii vier Adressbasisregisterpaare (AP, BP, LP, SP)

¹²Segmentnummer $\hat{=}$ Segmentname, Wortnummer $\hat{=}$ Wortadresse.

Adressen sind zweiteilige Gebilde, bestehend aus (1) **Segmentnummer** und (2) **Wortnummer** innerhalb des Segments¹²

- Einrichtungen zur Bildung einer „generalisierten Adresse“ daraus:
 - i Basisadresse der Segmentdeskriptortabelle (*descriptor base register*, DBR)
 - ii Segmentnummer der aktuellen Prozedur (*procedure base register*, PBR)
 - zusammen mit dem PC, einem Adressbasisregisterpaar nicht unähnlich
 - iii vier Adressbasisregisterpaare (AP, BP, LP, SP)
- **beachte:** Segment- und Wortnummern sind ortsunabhängige Daten
 - nur DBR hält eine Speicheradresse: Tabelle indiziert mit Segmentnummer
 - ein Segment ist sodann eine Worttabelle indiziert mit Wortnummer

¹²Segmentnummer $\hat{=}$ Segmentname, Wortnummer $\hat{=}$ Wortadresse.

Adressen sind zweiteilige Gebilde, bestehend aus (1) **Segmentnummer** und (2) **Wortnummer** innerhalb des Segments¹²

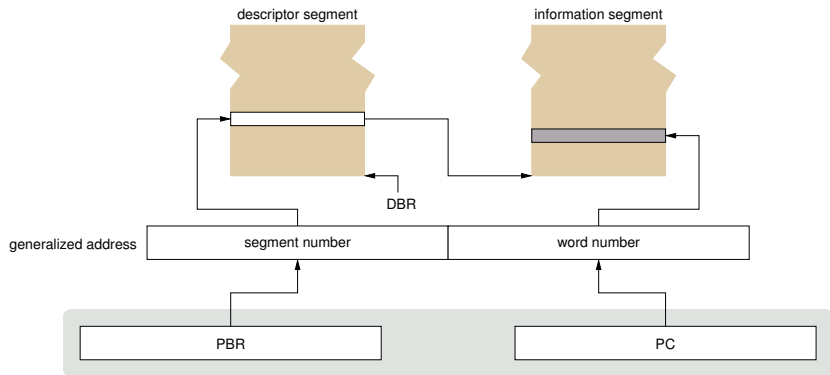
- Einrichtungen zur Bildung einer „generalisierten Adresse“ daraus:
 - i Basisadresse der Segmentdeskriptortabelle (*descriptor base register*, DBR)
 - ii Segmentnummer der aktuellen Prozedur (*procedure base register*, PBR)
 - zusammen mit dem PC, einem Adressbasisregisterpaar nicht unähnlich
 - iii vier Adressbasisregisterpaare (AP, BP, LP, SP)
- **beachte:** Segment- und Wortnummern sind ortsunabhängige Daten
 - nur DBR hält eine Speicheradresse: Tabelle indiziert mit Segmentnummer
 - ein Segment ist sodann eine Worttabelle indiziert mit Wortnummer

Prozessadressräume werden jeweils durch ein **Deskriptorsegment**, das einer Segmenttabelle entspricht, technisch repräsentiert

- DBR enthält die Anfangsadresse dieses Segments im Hauptspeicher
 - ein Softwareprototyp davon ist Bestandteil des Prozesskontrollblocks
 - beim Prozesswechsel wird der Hardwareprototyp entsprechend gesetzt

¹²Segmentnummer $\hat{=}$ Segmentname, Wortnummer $\hat{=}$ Wortadresse.

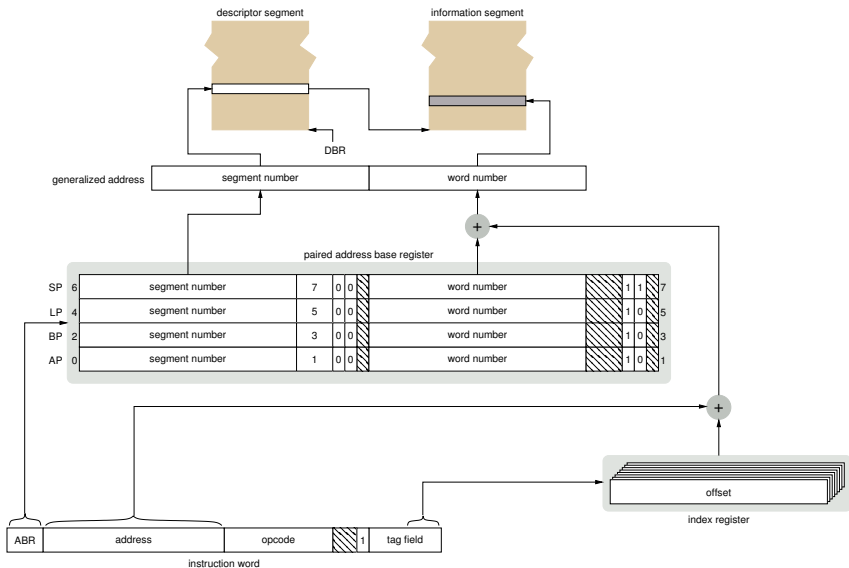


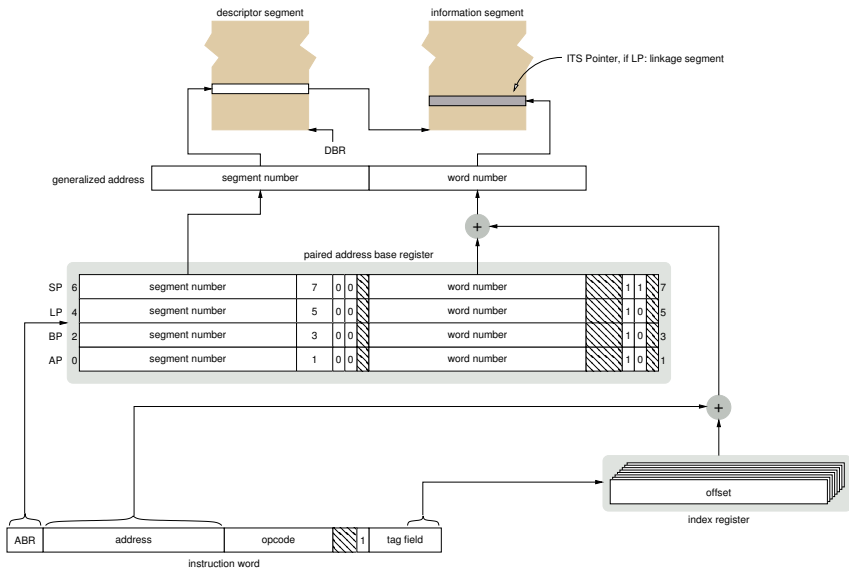


Bildung einer Adresse ga für den Befehlsabruf (*instruction fetch*) ist vergleichsweise unkompliziert \leadsto **Konkatenation**

- $ga = (\text{Segmentnummer} \langle \text{DBR} \rangle, \text{Wortnummer} \langle \text{PC} \rangle)$
- erst im Befehl ist der **Operandenabruf** \leadsto **dynamisches Binden** kodiert







Exemplar eines Hardwaredatentypen zur **Zwischensegmentbindung**
(*inter-segment linking*) \leadsto dynamisches Binden



Exemplar eines Hardwaredatentypen zur **Zwischensegmentbindung** (*inter-segment linking*) \rightsquigarrow **dynamisches Binden**

- Doppelwort (72-Bits) im Arbeitsspeicher/Adressraum eines Prozesses
 - referenziert durch die gebildete generalisierte Adresse, *falls*
 - das Befehletikett **indiziert-indirekte Adressierung** (RI, S. 26) spezifiziert



Exemplar eines Hardwaredatentypen zur **Zwischensegmentbindung** (*inter-segment linking*) \rightsquigarrow **dynamisches Binden**

- Doppelwort (72-Bits) im Arbeitsspeicher/Adressraum eines Prozesses
 - referenziert durch die gebildete generalisierte Adresse, *falls*
 - das Befehletikett **indiziert-indirekte Adressierung** (RI, S. 26) spezifiziert
- das Etikett im **Leitwort** (gerade Adresse) definiert den Zeigerzustand



Exemplar eines Hardwaredatentypen zur **Zwischensegmentbindung** (*inter-segment linking*) \rightsquigarrow **dynamisches Binden**

- Doppelwort (72-Bits) im Arbeitsspeicher/Adressraum eines Prozesses
 - referenziert durch die gebildete generalisierte Adresse, *falls*
 - das Befehletikett **indiziert-indirekte Adressierung** (RI, S. 26) spezifiziert
- das Etikett im **Leitwort** (gerade Adresse) definiert den Zeigerzustand *snapped*
 - der Zeiger ist an eine generalisierbare Adresse gebunden **ITS**
 - Segment- und (im Folgewort) Wortnummer sind gültig
 - **Normalfall**, der Prozessor führt den Zugriff direkt aus
 - das Etikett im Folgewort spezifiziert den weiteren Zugriff¹³

¹³Hier kann abermals indiziert-indirekte Adressierung kodiert sein.



Exemplar eines Hardwaredatentypen zur **Zwischensegmentbindung** (*inter-segment linking*) \rightsquigarrow **dynamisches Binden**

- Doppelwort (72-Bits) im Arbeitsspeicher/Adressraum eines Prozesses
 - referenziert durch die gebildete generalisierte Adresse, *falls*
 - das Befehletikett **indiziert-indirekte Adressierung** (RI, S. 26) spezifiziert
- das Etikett im **Leitwort** (gerade Adresse) definiert den Zeigerzustand
 - snapped** ■ der Zeiger ist an eine generalisierbare Adresse gebunden **ITS**
 - Segment- und (im Folgewort) Wortnummer sind gültig
 - **Normalfall**, der Prozessor führt den Zugriff direkt aus
 - das Etikett im Folgewort spezifiziert den weiteren Zugriff¹³
 - unsnapped** ■ der Zeiger ist ungebunden **FT2**
 - **Ausnahmefall**, der Prozessor löst einen Zugriffsfehler aus
 - das Betriebssystem behandelt den **Bindefehler** (*link trap*)
 - bei Wiederaufnahme wiederholt der Prozessor den Zugriff

¹³Hier kann abermals indiziert-indirekte Adressierung kodiert sein.



Exemplar eines Hardwaredatentypen zur **Zwischensegmentbindung** (*inter-segment linking*) \rightsquigarrow **dynamisches Binden**

- Doppelwort (72-Bits) im Arbeitsspeicher/Adressraum eines Prozesses
 - referenziert durch die gebildete generalisierte Adresse, *falls*
 - das Befehletikett **indiziert-indirekte Adressierung** (RI, S. 26) spezifiziert
- das Etikett im **Leitwort** (gerade Adresse) definiert den Zeigerzustand
 - snapped** ■ der Zeiger ist an eine generalisierbare Adresse gebunden **ITS**
 - Segment- und (im Folgewort) Wortnummer sind gültig
 - **Normalfall**, der Prozessor führt den Zugriff direkt aus
 - das Etikett im Folgewort spezifiziert den weiteren Zugriff¹³
 - unsnapped** ■ der Zeiger ist ungebunden **FT2**
 - **Ausnahmefall**, der Prozessor löst einen Zugriffsfehler aus
 - das Betriebssystem behandelt den **Bundefehler** (*link trap*)
 - bei Wiederaufnahme wiederholt der Prozessor den Zugriff
- FT2 stellt Segment- und Wortnummernfeld zur freien Verfügung
 - das Betriebssystem kann darin eine **symbolische Adresse** kodieren

¹³Hier kann abermals indiziert-indirekte Adressierung kodiert sein.



Zwischensegmentbindung wird über ein eigenes Segment gesteuert, das die *ITS Pointer* eines Prozesses zusammenfasst



Zwischensegmentbindung wird über ein eigenes Segment gesteuert, das die *ITS Pointer* eines Prozesses zusammenfasst

- angenommen, Prozedur P setzt folgenden Maschinenbefehl ab:¹⁴

OPR <D> | [x] ■ Darstellung in ALM [11]

- eine beliebige Operation OPR auf Wort x in Datensegment D
- daraus wird eine **Verknüpfung** (*link*) generiert, z.B. *ITS Pointer #42*
- jede dieser Verknüpfungen ist zunächst ein „*unsnapped link*“ \leadsto FT2

¹⁴In PL/1 für Multics würde die Referenz als $x\$D$ dargestellt sein.



Zwischensegmentbindung wird über ein eigenes Segment gesteuert, das die *ITS Pointer* eines Prozesses zusammenfasst

- angenommen, Prozedur P setzt folgenden Maschinenbefehl ab:¹⁴
 - OPR <D> | [x] ■ Darstellung in ALM [11]
 - eine beliebige Operation OPR auf Wort x in Datensegment D
 - daraus wird eine **Verknüpfung** (*link*) generiert, z.B. *ITS Pointer #42*
 - jede dieser Verknüpfungen ist zunächst ein „*unsnapped link*“ \leadsto FT2
- der Operand ist als „*ACC String*“ kodiert, allg.: <seg> | [ext]+exp,m
 - definiert eine symbolische Verknüpfung mit einem symbolischen Eintrag
 - im Beispiel von OPR zeigt der „*unsnapped link*“ dann auf <D> | [x]
 - Verwendung der Segment- und Wortnummernfelder als Zeichenkettenzeiger

¹⁴In PL/1 für Multics würde die Referenz als $x\$D$ dargestellt sein.



Zwischensegmentbindung wird über ein eigenes Segment gesteuert, das die *ITS Pointer* eines Prozesses zusammenfasst

- angenommen, Prozedur P setzt folgenden Maschinenbefehl ab:¹⁴
 - OPR `<D> | [x]` ■ Darstellung in ALM [11]
 - eine beliebige Operation OPR auf Wort x in Datensegment D
 - daraus wird eine **Verknüpfung** (*link*) generiert, z.B. *ITS Pointer #42*
 - jede dieser Verknüpfungen ist zunächst ein „*unsnapped link*“ \leadsto FT2
 - der Operand ist als „*ACC String*“ kodiert, allg.: `<seg> | [ext]+exp,m`
 - definiert eine symbolische Verknüpfung mit einem symbolischen Eintrag
 - im Beispiel von OPR zeigt der „*unsnapped link*“ dann auf `<D> | [x]`
 - Verwendung der Segment- und Wortnummernfelder als Zeichenkettenzeiger
 - Assemblierung des Befehls kodiert indiziert-indirekte Adressierung:
 - OPR `lp|42,*` ■ „*link*“ mit Wortnummer 42 im Bindungssegment
 - FT2-Behandlung lässt die Befehlskodierung und damit P invariant (S. 35)

¹⁴In PL/1 für Multics würde die Referenz als $x\$D$ dargestellt sein.



Aktionen zur Änderung der Verknüpfungsdaten im Bindungssegment, um eine Verknüpfung (*ITS Pointer*) zu etablieren



Aktionen zur Änderung der Verknüpfungsdaten im Bindungssegment, um eine Verknüpfung (*ITS Pointer*) zu etablieren

- Ausgangspunkt ist die **offene Verknüpfung** (*unsnapped link*)
 - das FT2-Etikett des Leitworts verursacht einen Bindefehler (*link trap*)
 - die Fehlerbehandlung übernimmt der **Bindelader** (*linking loader*)
 - dieser lokalisiert das über den „*ACC String*“ symbolisch adressierte Segment
 - er versucht, die symbolische in eine generalisierte Adresse umzuwandeln und
 - blendet das angeforderte Objekt in den (virtuellen) Prozessadressraum ein
- ↪ speicherabgebildete Datei (*memory-mapped file*), mitbenutztes Segment



Aktionen zur Änderung der Verknüpfungsdaten im Bindungssegment, um eine Verknüpfung (*ITS Pointer*) zu etablieren

- Ausgangspunkt ist die **offene Verknüpfung** (*unsnapped link*)
 - das FT2-Etikett des Leitworts verursacht einen Bindefehler (*link trap*)
 - die Fehlerbehandlung übernimmt der **Bindelader** (*linking loader*)
 - dieser lokalisiert das über den „ACC String“ symbolisch adressierte Segment
 - er versucht, die symbolische in eine generalisierte Adresse umzuwandeln und
 - blendet das angeforderte Objekt in den (virtuellen) Prozessadressraum ein
 - ↪ speicherabgebildete Datei (*memory-mapped file*), mitbenutztes Segment
 - bei positiver Symbolauflösung wurde $\langle D \rangle | [x]$ umgewandelt in $d\#_{\alpha} | x$:
 - $d\#_{\alpha}$ ist Segmentnummer d für Prozess α
 - x ist Wortnummer x im Segment namens $d\#_{\alpha}$
 - bei negativem Ausgang scheidet das Binden als Segmentierungsfehler

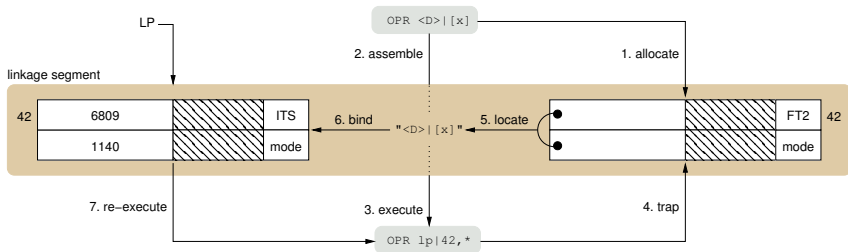


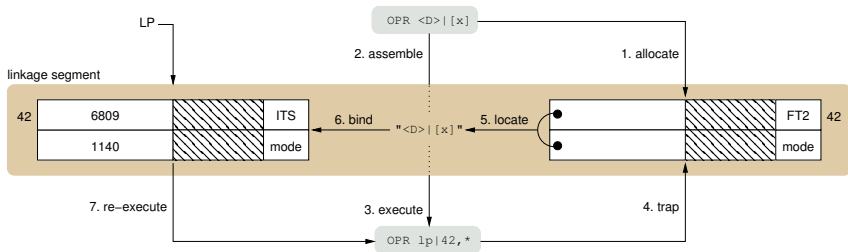
Aktionen zur Änderung der Verknüpfungsdaten im Bindungssegment, um eine Verknüpfung (*ITS Pointer*) zu etablieren

- Ausgangspunkt ist die **offene Verknüpfung** (*unsnapped link*)
 - das FT2-Etikett des Leitworts verursacht einen Bindefehler (*link trap*)
 - die Fehlerbehandlung übernimmt der **Bindelader** (*linking loader*)
 - dieser lokalisiert das über den „ACC String“ symbolisch adressierte Segment
 - er versucht, die symbolische in eine generalisierte Adresse umzuwandeln und
 - blendet das angeforderte Objekt in den (virtuellen) Prozessadressraum ein
 - ↪ speicherabgebildete Datei (*memory-mapped file*), mitbenutztes Segment
 - bei positiver Symbolauflösung wurde $\langle D \rangle | [x]$ umgewandelt in $d\#_{\alpha} | x$:
 - $d\#_{\alpha}$ ist Segmentnummer d für Prozess α
 - x ist Wortnummer x im Segment namens $d\#_{\alpha}$
 - bei negativem Ausgang scheitert das Binden als Segmentierungsfehler
- Operationsergebnis ist die **ingerastete Verknüpfung** (*snapped link*)
 - $d\#_{\alpha}$ und x wurden als Segment- und Wortnummer übernommen
 - im Leitwort wurde das Etikettfeld von FT2 auf ITS abgeändert



Binden II





- der Ansatz lässt das **Prozedursegment unverfälscht** (*pure procedure*)
 - die Änderungen betreffen nur das Bindungssegment des Prozesses
- Segmente von Prozeduren sind invariant gegenüber Außeneinflüsse
 - insb. durch Änderungen bei Neuübersetzung anderer Segmente
 - wenn dadurch Werte von Bezeichnern variieren, die Adressen in diesen Segmenten kennzeichnen *und*
 - diese Bezeichner in anderen Segmenten verwendet bzw. gespeichert werden
 - **Immunität**, die uneingeschränkte Mitbenutzung (*sharing*) sicherstellt



Segmentierung als Konzept zur Unterteilung von Programmen bzw. Prozessadressräumen hat seinen Ursprung im B 5000 [2, 17]



Segmentierung als Konzept zur Unterteilung von Programmen bzw. Prozessadressräumen hat seinen Ursprung im B 5000 [2, 17]

- aber Multics hat dieses Konzept konsequent zur Geltung gebracht
 - Segmente waren direkt und kontrolliert adressierbare Informationspakete
 - sämtliche (*online*) Information war direkt über Segmente referenzierbar
 - wohingegen in anderen Systemen dies nur über Dateien möglich war
 - nicht nur zur damaligen Zeit, auch wieder heute (2019) wäre das ein Novum



Segmentierung als Konzept zur Unterteilung von Programmen bzw. Prozessadressräumen hat seinen Ursprung im B 5000 [2, 17]

- aber Multics hat dieses Konzept konsequent zur Geltung gebracht
 - Segmente waren direkt und kontrolliert adressierbare Informationspakete
 - sämtliche (*online*) Information war direkt über Segmente referenzierbar
 - wohingegen in anderen Systemen dies nur über Dateien möglich war
 - nicht nur zur damaligen Zeit, auch wieder heute (2019) wäre das ein Novum
- Segmentzusammenstellung fokussierte auf **nichtfunktionale Aspekte**
 - **Referenzlokalitäten** (*locality of reference*) standen im Vordergrund
 - segmentlokale Referenzen bedingen keine indirekt adressierten Wortpaare
 - funktionale Aspekte und Gemeinsamkeiten traten eher in den Hintergrund



Segmentierung als Konzept zur Unterteilung von Programmen bzw. Prozessadressräumen hat seinen Ursprung im B 5000 [2, 17]

- aber Multics hat dieses Konzept konsequent zur Geltung gebracht
 - Segmente waren direkt und kontrolliert adressierbare Informationspakete
 - sämtliche (*online*) Information war direkt über Segmente referenzierbar
 - wohingegen in anderen Systemen dies nur über Dateien möglich war
 - nicht nur zur damaligen Zeit, auch wieder heute (2019) wäre das ein Novum
- Segmentzusammenstellung fokussierte auf **nichtfunktionale Aspekte**
 - **Referenzlokalitäten** (*locality of reference*) standen im Vordergrund
 - segmentlokale Referenzen bedingen keine indirekt adressierten Wortpaare
 - funktionale Aspekte und Gemeinsamkeiten traten eher in den Hintergrund
- auch die interaktive Benutzung von Multics war „segmentorientiert“
 - Kommandos/Programme waren als Segmente repräsentierte Prozeduren
 - Benutzereingaben trieben den Kommandointerpretierer in die „Bidefalle“



Segmentierung als Konzept zur Unterteilung von Programmen bzw. Prozessadressräumen hat seinen Ursprung im B 5000 [2, 17]

- aber Multics hat dieses Konzept konsequent zur Geltung gebracht
 - Segmente waren direkt und kontrolliert adressierbare Informationspakete
 - sämtliche (*online*) Information war direkt über Segmente referenzierbar
 - wohingegen in anderen Systemen dies nur über Dateien möglich war
 - nicht nur zur damaligen Zeit, auch wieder heute (2019) wäre das ein Novum
- Segmentzusammenstellung fokussierte auf **nichtfunktionale Aspekte**
 - **Referenzlokalitäten** (*locality of reference*) standen im Vordergrund
 - segmentlokale Referenzen bedingen keine indirekt adressierten Wortpaare
 - funktionale Aspekte und Gemeinsamkeiten traten eher in den Hintergrund
- auch die interaktive Benutzung von Multics war „segmentorientiert“
 - Kommandos/Programme waren als Segmente repräsentierte Prozeduren
 - Benutzereingaben trieben den Kommandointerpretierer in die „Bindefälle“
- unter Multics lagen alle Prozeduren in einer **Gemeinschaftsbibliothek**
 - die allen Benutzern kontrolliert (ggf. auch ändernd) zugänglich war



Einleitung

Gemeinschaftsbibliothek

Binden und Laden

Textverbände

Multics

Einführung

GE-645

Dynamisches Binden

Zusammenfassung



- Gemeinschaftsbibliotheken haben Einfluss auf das Adressraummodell
 - Arbeitsteilung von Binder und Lader beugt redundanten Programmen vor
 - zur Bindezeit externe Programmsymbole mit Bibliothekseinträgen assoziieren
 - zur Ladezeit die benötigten Bibliothek in Betrieb setzen: Anlaufprozedur
 - die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
 - der Einlagerung in den realen folgt Einblendung im logischen Adressraum
- Gemeinschaftsbibliotheken sind unterschiedlich ausgeprägt:
 - statisch
 - Symbole zur Bindezeit mit Adressen assoziieren, aber
 - die zugehörigen Objekte erst zur Ladezeit verknüpfen
 - dynamisch
 - Symbolauflösung zur Bindezeit, Bindung zur Startzeit oder
 - Laufzeit \rightsquigarrow programmiertes Nachladen, Teilinterpretation
- Multics leistete Pionierarbeit zum dynamischen Binden: *lazy binding*



- Gemeinschaftsbibliotheken haben Einfluss auf das Adressraummodell
 - Arbeitsteilung von Binder und Lader beugt redundanten Programmen vor
 - zur Bindezeit externe Programmsymbole mit Bibliothekseinträgen assoziieren
 - zur Ladezeit die benötigten Bibliothek in Betrieb setzen: Anlaufprozedur
 - die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
 - der Einlagerung in den realen folgt Einblendung im logischen Adressraum
- Gemeinschaftsbibliotheken sind unterschiedlich ausgeprägt:
 - statisch
 - Symbole zur Bindezeit mit Adressen assoziieren, aber
 - die zugehörigen Objekte erst zur Ladezeit verknüpfen
 - dynamisch
 - Symbolauflösung zur Bindezeit, Bindung zur Startzeit oder
 - Laufzeit \rightsquigarrow programmiertes Nachladen, Teilinterpretation
- Multics leistete Pionierarbeit zum dynamischen Binden: *lazy binding*



- Gemeinschaftsbibliotheken haben Einfluss auf das Adressraummodell
 - Arbeitsteilung von Binder und Lader beugt redundanten Programmen vor
 - zur Bindezeit externe Programmsymbole mit Bibliothekseinträgen assoziieren
 - zur Ladezeit die benötigten Bibliothek in Betrieb setzen: Anlaufprozedur
 - die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
 - der Einlagerung in den realen folgt Einblendung im logischen Adressraum
- Gemeinschaftsbibliotheken sind unterschiedlich ausgeprägt:
 - statisch** ■ Symbole zur **Bindezeit** mit Adressen assoziieren, aber
 - die zugehörigen Objekte erst zur **Ladezeit** verknüpfen
 - dynamisch** ■ Symbolauflösung zur Bindezeit, Bindung zur **Startzeit** oder
 - **Laufzeit** → programmiertes Nachladen, Teilinterpretation
- Multics leistete Pionierarbeit zum dynamischen Binden: *lazy binding*



- Gemeinschaftsbibliotheken haben Einfluss auf das Adressraummodell
 - Arbeitsteilung von Binder und Lader beugt redundanten Programmen vor
 - zur Bindezeit externe Programmsymbole mit Bibliothekseinträgen assoziieren
 - zur Ladezeit die benötigten Bibliothek in Betrieb setzen: Anlaufprozedur
 - die Inbetriebsetzung der Bibliothek geschieht im Programmkontext:
 - i sie ist Teil des Betriebssystems,
 - ii des ablauffähigen Programms selbst, das gerade geladen wird,
 - iii eines im Programmadressraum eingeblendeten dynamischen Binders oder
 - iv sie gestaltet sich als eine Kombination aus i, ii oder iii
 - der Einlagerung in den realen folgt Einblendung im logischen Adressraum
- Gemeinschaftsbibliotheken sind unterschiedlich ausgeprägt:
 - statisch** ■ Symbole zur **Bindezeit** mit Adressen assoziieren, aber
 - die zugehörigen Objekte erst zur **Ladezeit** verknüpfen
 - dynamisch** ■ Symbolauflösung zur Bindezeit, Bindung zur **Startzeit** oder
 - **Laufzeit** → programmiertes Nachladen, Teilinterpretation
- Multics leistete Pionierarbeit zum dynamischen Binden: *lazy binding*



- [1] BELLEC, J. :
From GECOS to GCOS8: An History of Large Systems in GE, Honeywell, NEC and Bull.
http://www.feb-patrimoine.com/english/gecos_to_gcos8_part_1.htm, Febr. 2003
- [2] BURROUGHS CORPORATION (Hrsg.):
The Descriptor — A Definition of the B 5000 Information Processing System.
Detroit 32, Michigan, USA: Burroughs Corporation, Febr. 1961.
(Bulletin 5000-20002-P)
- [3] CORBATÓ, F. J.:
PL/I as a Tool for System Programming.
In: *Datamation* 15 (1969), Mai, Nr. 5, S. 68–76
- [4] CORBATÓ, F. J. ; DAGGETT, M. M. ; DALEY, R. C.:
An Experimental Time-Sharing System.
In: *Proceedings of the 1962 Spring Joint Computer Conference (AFIPS '62)*
American Federation of Information Processing Societies, AFIPS Press, 1962, S. 335–344



- [5] CORBATÓ, F. J. ; SALTZER, J. H. ; CLINGEN, C. T.:
Multics: The First Seven Years.
In: *Proceedings of the Spring Joint Computer Conference (AFIPS '72)*.
New York, NY, USA : ACM, 1972, S. 571–583

- [6] CORBATÓ, F. J. ; VYSSOTSKY, V. A.:
Introduction and Overview of the Multics System.
In: [23], S. 185–196

- [7] DALEY, R. C. ; NEUMANN, P. G.:
A General-Purpose File System for Secondary Storage.
In: [23], S. 213–229

- [8] DAVID, E. E. Jr. ; FANO, R. M.:
Some Thoughts About the Social Implications of Accessible Computing.
In: [23], S. 243–247

- [9] GLASER, E. L. ; COULEUR, J. F. ; OLIVER, G. A.:
System Design of a Computer for Time Sharing Applications.
In: [23], S. 197–202



- [10] GREEN, P. :
Multics Virtual Memory — Tutorial and Reflections.
<ftp://ftp.stratus.com/pub/vos/multics/pg/mvm.html>, Mai 1993
- [11] HONEYWELL INFORMATION SYSTEMS (Hrsg.):
ALM Assembler.
Waltham, MA, USA: Honeywell Information Systems, Febr. 1975.
(AN63)
- [12] HONEYWELL INFORMATION SYSTEMS (Hrsg.):
Multics PL/I Language Specification.
Waltham, MA, USA: Honeywell Information Systems, März 1981.
(AG94-02)
- [13] INTEL CORPORATION (Hrsg.):
Intel Architecture Software Developer's Manual.
Order Number: 243191.
Santa Clara, California, USA: Intel Corporation, 1999



- [14] KARGER, P. A. ; SCHELL, R. R.:
Thirty Years Later: Lessons from the Multics Security Evaluation.
In: *Proceedings of the 18th Annual Computer Security Applications Conference (CSAC 2002)*, IEEE Computer Society, 2002. –
ISBN 0-7695-1828-1, S. 119-126
- [15] LATHAM, D. C.:
Department of Defense Trusted Computer System Evaluation Criteria / Department of Defense.
1985 (DoD 5200.28-STD). –
Department of Defense Standard. –
Orange Book
- [16] LEVINE, J. R.:
Linkers & Loaders.
Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999 (Software Engineering and Programming)
- [17] MAYER, A. J. W.:
The Architecture of the Burroughs B5000: 20 Years Later and Still Ahead of the Times?
In: *ACM SIGARCH Computer Architecture News* 10 (1982), Jun., Nr. 4, S. 3-10



- [18] NIVELET, B. :
Multics Internet Server.
http://web.mit.edu/multics-history/source/Multics_Internet_Server/Multics_sources.html, 2006. –
Final Multics Release, MR 12.5, November 1992
- [19] NSA Public and Media Affairs:
National Security Agency Shares Security Enhancements to LINUX.
http://www.nsa.gov/public_info/press_room/2001/se-linux.shtml, Jan. 2001
- [20] ORGANICK, E. I.:
The Multics System: An Examination of its Structure.
MIT Press, 1972. –
ISBN 0-262-15012-3
- [21] OSSANNA, J. F. ; MIKUS, L. E. ; DUNTEN, S. D.:
Communications and Input/Output Switching in a Multiplex Computing System.
In: [23], S. 231–241
- [22] PANKHURST, R. J.:
Operating Systems: Program Overlay Techniques.
In: *Communications of the ACM* 11 (1968), Febr., Nr. 2, S. 119–125



- [23] RECTOR, R. W. (Hrsg.):
Proceedings of the 1965 Fall Joint Computer Conference (AFIPS '65).
Bd. *Part I.*
New York, NY, USA : ACM, 1965
- [24] SANTA CRUZ OPERATION, INC. (Hrsg.):
System V Application Binary Interface.
Edition 4.1.
Santa Cruz, CA, USA: Santa Cruz Operation, Inc., März 1997
- [25] SUN MICROSYSTEMS, INC.:
Solaris SunOS.
1991. –
SunOS 5.0 Release Report
- [26] VYSSOTSKY, V. A. ; CORBATÓ, F. J. ; GRAHAM, R. M.:
Structure of the Multics Supervisor.
In: [23], S. 203–212

