Լաբորատոր աշխատանք 5

Հիշողության արտապատկերում (Memory Mapping)

mmap() համակարգային կանչը պրոցեսի վիրտուալ հիշողության տարածքում ստեղծում է նոր արտապատկերում: Ֆունկցիայի պրոտոտիպը.

```
#include <sys/mman.h>
void *mmap(void *addr, size_t length, int prot, int flags, int fd, off_t offset);
```

- **addr** - այս արգումենտը սահմանում է վիրտուալ հասցեն, որտեղ պետք է տեղակայվի արտապատկերումը: Եթե այս արգումենտը փոխանցվում է որպես *NULL*, հասցեն ընտրվում է ՕՀ միջուկի կողմից: Սա արտապատկերում ստեղծելու նախընտրելի մեթոդն է: Եթե այս արգումենտը *NULL* չէ, ապա ՕՀ միջուկը կլորացնում է փոխանցված արժեքը մինչև մոտակա էջի սահմանը: 2 դեպքում էլ ՕՀ միջուկն ընտրում է այնպիսի հասցե, որը չի հատվում գոյություն ունեցող արտապատկերումների հետ: Եթե flags արգումենտում սահմանված է MAP_FIXED դրոշակը, ապա addr արգումենտով փոխանցված հասցեն պետք է լինի համակարգային էջի բազմապատիկ: Համակարգային էջի չափը կարելի է ստանալ հետևյալ հրամանի միջոցով. getconf PAGE_SIZE
- **length** արգումենտը սահմանում է արտապատկերման չափը՝ բայթերով: Չնայած, որ պարտադիր չէ, որ այս արգումենտը լինի համակագային էջի բազմապատիկ, ՕՀ միջուկը արտապատկերումները ստեղծում է այդ չափի միավորներով այնպես, որ երկարությունը կլորացվում է դեպի վեր՝ մինչև մոտակա էջի բազմապատիկը:
- **prot** արգումենտը սահմանում է արտապատկերման պաշտպանության բիթերը: Այն կարող է ընդունել PROT_NONE արժեքը կամ թվարկված այլ դրոշակների համադրություն.
    - PROT_NONE – հատվածը հասանելի չէ,
    - PROT_READ – հատվածի պարունակությունը կարելի է կարդալ,
    - PROT_WRITE – հատվածի պարունակությունը կարող է փոփոխվել,
    - PROT_EXEC – հատվածի պարունակությունը կարող է կատարվել:
- **flags** արգումենտը ղեկավարում է արտապատկերման գործողությունը: Այն պետք է պարունակի հետևյալ դրոշակներից ճիշտ մեկը.
    - MAP_PRIVATE – ստեղծում է մասնավոր արտապատկերում: Այդ հատվածում կատարված փոփոխությունները տեսանելի չեն նույն արտապատկերումը

օգտագործող այլ պրոցեսների համար: Ֆայլային արտապատկերման դեպքում փոփոխությունները չեն գրանցվում ֆայլում:

- MAP_SHARED – ստեղծում է ընդհանուր արտապատկերում: Այդ հատվածում կատարված փոփոխությունները տեսանելի են նույն արտապատկերումը MAP_SHARED ատրիբուտով օգտագործող այլ պրոցեսների համար: Ֆայլային արտապատկերման դեպքում փոփոխությունները գրանցվում են ֆայլում:

Մյուս 2 արգումենտները՝ **fd** և **offset**, կիրառվում են ֆայլային արտապատկերումների դեպքում և անտեսվում են անանուն արտապատկերումների դեպքում:

- **fd** արգումենտը ֆայլային դեսկրիպտոր է, որը նույնականացնում է արտապատկերվող ֆայլը:
- **offset** արգումենտը սահմանում է ֆայլում արտապատկերման սկիզբը և պետք է լինի համակարգային էջի բազմապատիկ: Ամբողջ ֆայլն արտապատկերելու համար պետք է offset-ը փոխանցել որպես 0, իսկ length-ը՝ ֆայլի չափով:

Հաջող կանչի դեպքում mmap() ֆունկցիան վերադարձնում է նոր արտապատկերման սկզբնական հասցեն: Սխալի դեպքում վերադարձնում է **MAP_FAILED** արժեքը:

Արտապատկերման ստեղծումը

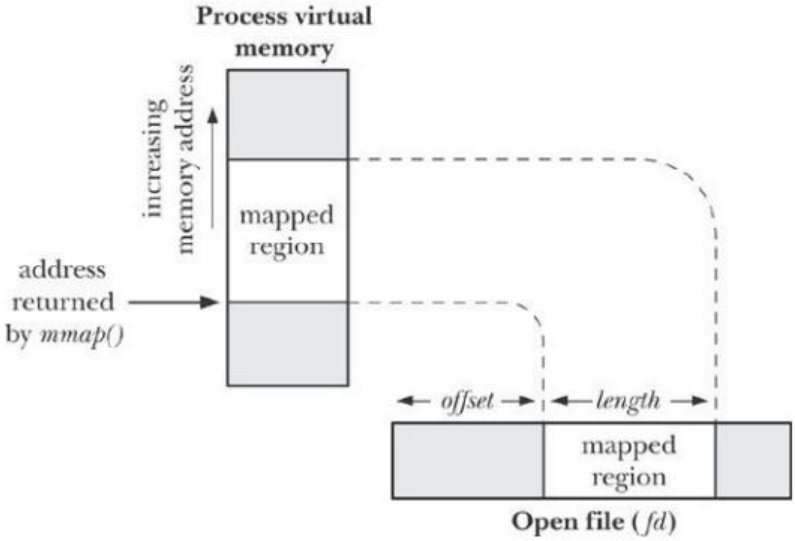
mcat ծրագրում ներկայացված է cat հրամանի պարզ տարբերակի իրագործումը: Այն արտապատկերում է ֆայլը, որի անունը փոխանցվել է ծրագրին որպես հրամանային տողի արգումենտ, և գրում է դրա պարունակությունը stdout հոսքի մեջ: Ծրագիրը կատարելու համար անհրաժեշտ քայլերն են.

- Ստեղծել ծրագրի կատարվող ֆայլը.
  gcc mcat.c -o mcat
- Ստեղծել որոշակի պարունակությամբ ֆայլ, որը պետք է արտապատկերվի ծրագրի կողմից.
  echo "Hello world" > file.txt
- Կատարել ծրագիրը՝ որպես հրամանային տողի արգումենտ փոխանցելով ստեղծված ֆայլի անունը.
  ./mcat file.txt

Ֆայլային արտապատկերում

Ֆայլային արտապատկերում ստեղծելու համար անհրաժեշտ է իրականացնել հետևյալ քայլերը.

1. Ստեղծել ֆայլային դեսկրիպտոր (օրինակ՝ *open()* ֆունկցիայի կանչով),
2. Փոխանցել ստեղծված ֆայլային դեսկրիպտորը որպես **mmap()** ֆունկցիայի **fd** արգումենտ:



Նկ. 1 Ֆայլային արտապատկերում (file mapping)

mmap ծրագիրը ստեղծում է ընդհանուր ֆայլային արտապատկերում: Այն արտապատկերում է ֆայլը, որի անունը փոխանցվել է ծրագրին որպես հրամանային տողի առաջին արգումենտ, և արտածում է արտապատկերված հատվածում գտնվող պարունակությունը: Եթե ծրագրին հրամանային տողով փոխանցվում է ևս մեկ արգումենտ, ապա այդ արգումենտի արժեքը պատճենվում է ընդհանուր հիշողության հատվածում: Ծրագիրը կատարելու համար անհրաժեշտ քայլերն են.

- Ստեղծել ծրագրի կատարվող ֆայլը.
  gcc mmap.c -o mmap
- Ստեղծել ֆայլ, որի պարունակությունը պետք է արտապատկերվի ծրագրի կողմից.
  touch mfile.txt
- Քանի որ touch հրամանի արդյունքում ստեղծված ֆայլի չափը 0 է, ապա հարկավոր է ֆայլի համար սահմանել որոշակի չափ և սկզբնավորել պարունակությունը 0 արժեքով.
  truncate -s 100 mfile.txt

- Կատարել ծրագիրը՝ որպես հրամանային տողի արգումենտներ փոխանցելով ստեղծված ֆայլի անունը և կամայական արժեք, որը պետք է գրանցվի ֆայլում.
  ./mmap mfile.txt "Hello world"

Քանի որ արտապատկերման պարունակությունը սկզբնավորվում է ֆայլից, և արտապատկերման մեջ կատարված փոփոխությունները գրանցվում են ֆայլում, ապա կարելի է ասել, որ այս ծրագիրն իրականացնում է հիշողության արտապատկերմամբ Ն/Ա (memory-mapped I/O) տեխնիկան:

Անանուն արտապատկերում

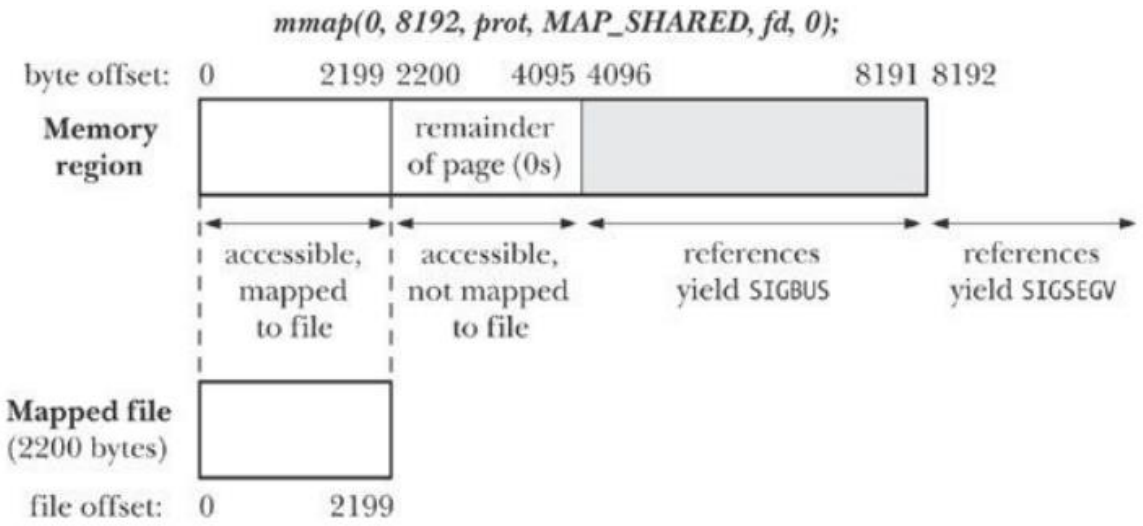
anon_mmap ծրագիրը ներկայացնում է անանուն արտապատկերման կիրառումը ծնող և դուստր պրոցեսների կողմից: Կախված USE_MAP_ANON մակրոյի առկայությունից՝ այն արտապատկերումը ստեղծում է MAP_ANONYMOUS դրոշակի կամ /dev/zero սարքավորման ֆայլի միջոցով:

Մինչև fork() կանչը ծնող պրոցեսը սկզբնավորում է արտապատկերումը 1 արժեքով: Դրանից հետո դուստր պրոցեսը մեծացնում է այդ արժեքը 1-ով և ավարտվում: Ծնող պրոցեսը սպասում է դուստր պրոցեսի ավարտին և տպում փոփոխված արժեքը: Ծրագիրը կատարելու համար անհրաժեշտ քայլերն են.

- Ստեղծել ծրագրի կատարվող ֆայլը.
  gcc anon_mmap.c -o anon_mmap
  կամ
  gcc anon_mmap.c -D USE_MAP_ANON -o anon_mmap
- Կատարել ծրագիրը.
  ./anon_mmap

Սահմանային դեպքեր

Նկ. 4-ում պատկերված է իրավիճակ, երբ արտապատկերման չափը գերազանցում է ֆայլի չափը: Քանի որ ֆայլի չափը համակարգային էջի բազմապատիկ չէ, ապա այն կլորացվում է դեպի վեր՝ մինչև համակարգային էջի մոտակա բազմապատիկը: Բայց այս դեպքում դեպի վեր կլորացված հատվածի բայթերը չեն արտապատկերվում ֆայլից, քանի որ դրանք ֆայլում հասանելի չեն: Փոխարենը, դրանք սկզբնավորվում են 0 արժեքով: Այնուամենայնիվ, այս բայթերը հասանելի են մյուս պրոցեսների համար, որոնք օգտագործում են արտապատկերման տվյալ հատվածը: Այս հատվածում կատարված փոփոխությունները չեն գրանցվում ֆայլում:



Նկ. 2 Հիշողության արտապատկերում, որը գերազանցում է ֆայլի չափը

Եթե արտապատկերման մեջ կան դեպի վեր կլորացված հատվածից հետո եկող բայթեր, ապա դրանց դիմելու դեպքում գեներացվում է **SIGBUS** ազդանշան: Արտապատկերման վերջից դուրս բայթերին դիմելու դեպքում գեներացվում է **SIGSEGV** ազդանշան:

Այս իրավիճակը կարելի է ստեղծել mmap ծրագրում՝ փոխանցելով 0 երկարությամբ ֆայլ:

Արտապատկերման հեռացումը

munmap() համակարգային կանչն իրականացնում է **mmap()** կանչի հակառակ գործողությունը՝ հեռացնելով արտապատկերումը պրոցեսի վիրտուալ հիշողության տարածքից: Ֆունկցիայի կիրառման օրինակը ներկայացված է anon_mmap ծրագրում:

Ֆունկցիայի պրոտոտիպը.

```
#include <sys/mman.h>
int munmap(void *addr, size_t length);
```

- **addr** արգումենտը հեռացվող հասցեների տարածության սկզբնական հասցեն է:
- **length** արգումենտը ոչ բացասական ամբողջ թիվ է, որը սահմանում է հեռացվող հատվածի չափը՝ բայթերով:

Արտապատկերման հեռացումից հետո addr հասցեի դիմումը գեներացնում է **SIGSEGV** ազդանշան:

Արտապատկերման սինխրոնիզացիա

ՕՀ միջուկը ավտոմատ կերպով գրանցում է ընդհանուր ֆայլային արտապատկերման փոփոխությունները համապատասխան ֆայլում, բայց չի սահմանվում, թե երբ այդ գործողությունը տեղի կունենա:

msync() համակարգային կանչը ծրագրին բացահայտ վերահսկողություն է տրամադրում այն գործողության նկատմամբ, որը սինխրոնացնում է արտապատկերման պարունակությունը ֆայլի հետ (գրանցում է դրանք ֆայլում): Ֆունկցիայի կիրառման օրինակը ներկայացված է mmap ծրագրում:

#include <sys/mman.h>
int msync(void *__addr__, size_t __length__, int __flags__);

addr և **length** արգումենտները սահմանում են սինխրոնացվող հատվածի սկզբի հասցեն և չափը: *addr* արգումենտի արժեքը պետք է լինի համակարգային էջի բազմապատիկ, իսկ *length* արգումենտը կլորացվում է դեպի վեր մինչև համակարգային էջի մոտակա բազմապատիկը:

flags արգումենտի հնարավոր արժեքներն են.

- **MS_SYNC** – Իրականացնում է սինխրոն գրանցում: *msync()* կանչն արգելափակվում է, մինչև հիշողության հատվածի բոլոր փոփոխված էջերը գրանցվեն ֆայլում:
- **MS_ASYNC** – Իրականացնում է ասինխրոն գրանցում: Փոփոխված էջերը գրանցվում են ֆայլում ավելի ուշ, բայց անմիջապես տեսանելի են դառնում այլ պրոցեսների համար, որոնք կարդում են ֆայլի տվյալ հատվածից: *MS_SYNC* գործողությունից հետո հիշողության հատվածը սինխրոնացված է ֆայլի հետ, իսկ *MS_ASYNC* գործողությունից հետո այն պարզապես սինխրոնացված է ՕՀ միջուկի բուֆերի քեշի հետ:
- **MS_INVALIDATE** – Անվավեր է դարձնում արտապատկերված տվյալների քեշավերված պատճենները: Երբ հիշողության հատվածի բոլոր փոփոխված էջերը գրանցվում են ֆայլում, հիշողության բոլոր էջերը, որոնք չեն համապատասխանում ֆայլի էջերին, նշվում են որպես անվավեր: Հիշողության այդ էջերին հաջորդ դիմումի դեպքում դրանց պարունակությունը պատճենվում է ֆայլի համապատասխան էջերից:

Առաջադրանքներ

1. Ստեղծել որոշակի պարունակությամբ ֆայլ , կատարել mcat ծրագիրը՝ որպես հրամանային տողի արգումենտ փոխանցելով ստեղծված ֆայլի անունը:

2. Ստեղծել 1KB ծավալով նոր ֆայլ և սկզբնավորել այն 0 արժեքով: Կատարել mmap ծրագիրը՝ որպես հրամանային տողի արգումենտներ փոխանցելով ստեղծված ֆայլի անունը և կամայական արժեք: Բացատրել ցուցադրված հաղորդագրությունները:

3. Ծրագրում mmap() կանչից հետո ավելացնել sleep(5) հրամանը, կրկին կատարել ծրագիրը, և մինչ պրոցեսը գտնվում է սպասման վիճակում, ընդհատել այն (Ctrl + Z): Բացել /proc/{pid}/maps ֆայլը և ցուցադրել ստեղծված արտապատկերման հասցեների միջակայքը:

4. Կատարել mmap ծրագիրն այնպես, որ գեներացվի SIGBUS ազդանշան: Ազդանշանի ստացման մեջ համոզվելու համար ավելացնել ազդանշանը մշակող ֆունկցիա, որը հաղորդագրություն կցուցադրի ազդանշանի ստացման մասին:

5. mmap ծրագրում ընդհանուր ֆայլային արտապատկերումը դարձնել մասնավոր՝ mmap() ֆունկցիայի MAP_SHARED արժեքի փոխարեն տեղադրելով MAP_PRIVATE: Ծրագիրը նորից կատարելով համոզվել, որ արտապատկերման տարածքում կատարված փոփոխությունները չեն գրանցվում ֆայլում:

6. mmap ծրագրում ավելացնել munmap() կանչը՝ հեռացնելով արտապատկերումը պրոցեսի վիրտուալ հիշողության տարածքից: Այնուհետև արտապատկերման պարունակությունը կարդալու ևս մեկ փորձ կատարել: Բացատրել ծրագրի աշխատանքի արդյունքը:

7. Կատարել anon_mmap ծրագիրը: Ընդհանուր անանուն արտապատկերումը դարձնել մասնավոր՝ mmap() ֆունկցիայի MAP_SHARED արժեքի փոխարեն տեղադրելով MAP_PRIVATE: Կրկին կատարել ծրագիրը և բացատրել ծրագրի նախորդ աշխատանքի արդյունքի հետ տարբերությունը:

8. Փոփոխել 5-րդ լաբորատոր աշխատանքում ներկայացված writer և reader ծրագրերը՝ System V ընդհանուր հիշողության փոխարեն կիրառելով հիշողության արտապատկերում:

9. Գրել ծրագիր, որը կիրականացնի cp հրամանի պարզ տարբերակը: Ծրագիրը հրամանային տողից պետք է ընդունի 2 արգումենտ՝ src և dest, և պատճենի առաջին ֆայլի պարունակությունը 2-րդի մեջ: Եթե առաջին ֆայլը գոյություն չունի, ապա պետք է հաղորդագրություն ցուցադրվի այդ մասին: Եթե երկրորդ ֆայլը գոյություն չունի, ապա այն պետք է ստեղծվի: