Προγραμματισμός συστημάτων UNIX/POSIX

Διαδιεργασιακή επικοινωνία: αγωγοί
(IPC – inter-process communication: pipes)

MYY502

Επικοινωνία μεταξύ διεργασιών γονέα-παιδιού

- Κατά κάποιο τρόπο, θα δημιουργήσουμε ένα τύπο δυαδικού «αρχείου» στο οποίο θα έχουν πρόσβαση και οι δύο διεργασίες.
- Αρχικά, θα θεωρήσουμε ότι οι διεργασίες έχουν προέρθει από το ίδιο πρόγραμμα, με χρήση της fork() (μπορείτε να φανταστείτε γιατί;)
  - Διότι με την fork το παιδί κληρονομεί τα πάντα όπως είπαμε, ακόμα και τα αρχεία που έχει ανοίξει ο γονέας.
- Ο γονέας θα ανοίξει το αρχείο και το παιδί θα το έχει ήδη ανοιχτό όταν δημιουργηθεί με την fork().

- Τα ειδικά αυτά αρχεία ονομάζονται **(ανώνυμοι) αγωγοί (unnamed pipes)**
  - Διότι κατά το άνοιγμα δεν δίνεται κανένα όνομα αρχείου.

Αγωγοί (pipe)

- Δημιουργία & άνοιγμα pipe:

```
#include <unistd.h>
int pipe(int pfd[2]);
```

- Επιστρέφει 0 αν όλα ΟΚ – αλλιώς αρνητικό.
- Στο pfd[] ανοίγουν και επιστρέφονται 2 περιγραφείς αρχείων.
  - Με το **pfd[1]** μπορεί **να γίνει ΜΟΝΟ γράψιμο (write) προς το pipe**
  - Με το **pfd[0]** θα μπορεί **να γίνει ΜΟΝΟ διάβασμα (read) από το pipe**
  - *Δηλαδή, ότι γράφεται στο pfd[1] διαβάζεται από το pfd[0].*

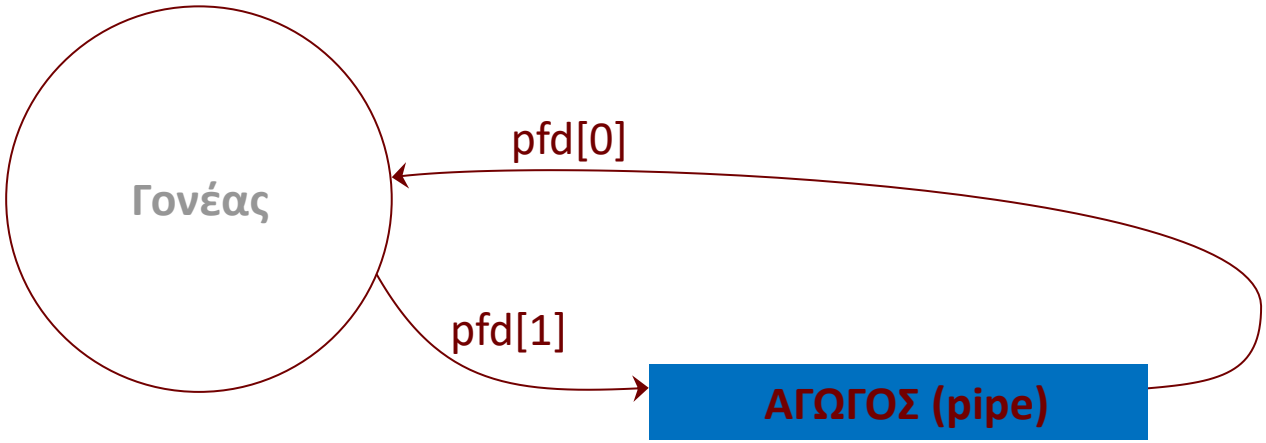
- Εγγραφή και ανάγνωση γίνονται με τις γνωστές συναρτήσεις read() και write().
- Κλείσιμο γίνεται με την close().
- Δεν μπορείτε να κάνετε lseek().

Παράδειγμα με pipe

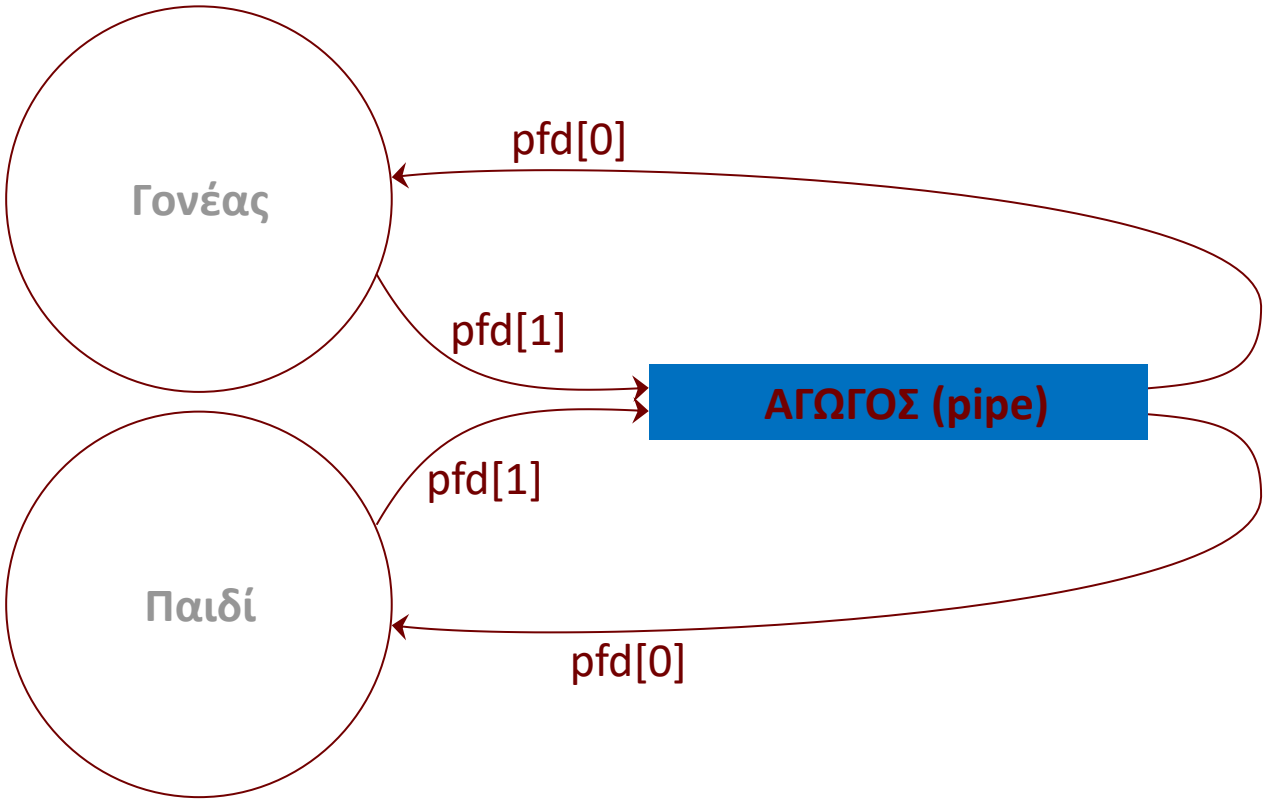
```
int main() {
  int  n, pfd[2];
  char msg[50];

  if (pipe(pfd) < 0) {
    perror("pipe()");
    exit(1);
  }
  if (fork() != 0) {  /* Parent */
    close(pfd[0]);      /* No reading by the parent */
    printf("(%d) - I am the parent; sending hello message.\n", getpid());
    write(pfd[1], "hello!!", 7);
  }
  else {              /* Child */
    close(pfd[1]);      /* No writing by the child */
    printf("(%d) - I am the child.\n", getpid());
    while ((n = read(pfd[0], msg, 2)) >= 0) {
      if (n == 0) break;  /* EOF */
      printf("(%d) - read %d bytes from the pipe [%.*s]\n", getpid(), n, n, msg);
    }
    if (n < 0) {
      perror("read() from child");
      exit(1);
    }
  }
  return 0;             /* All files close */
}
```

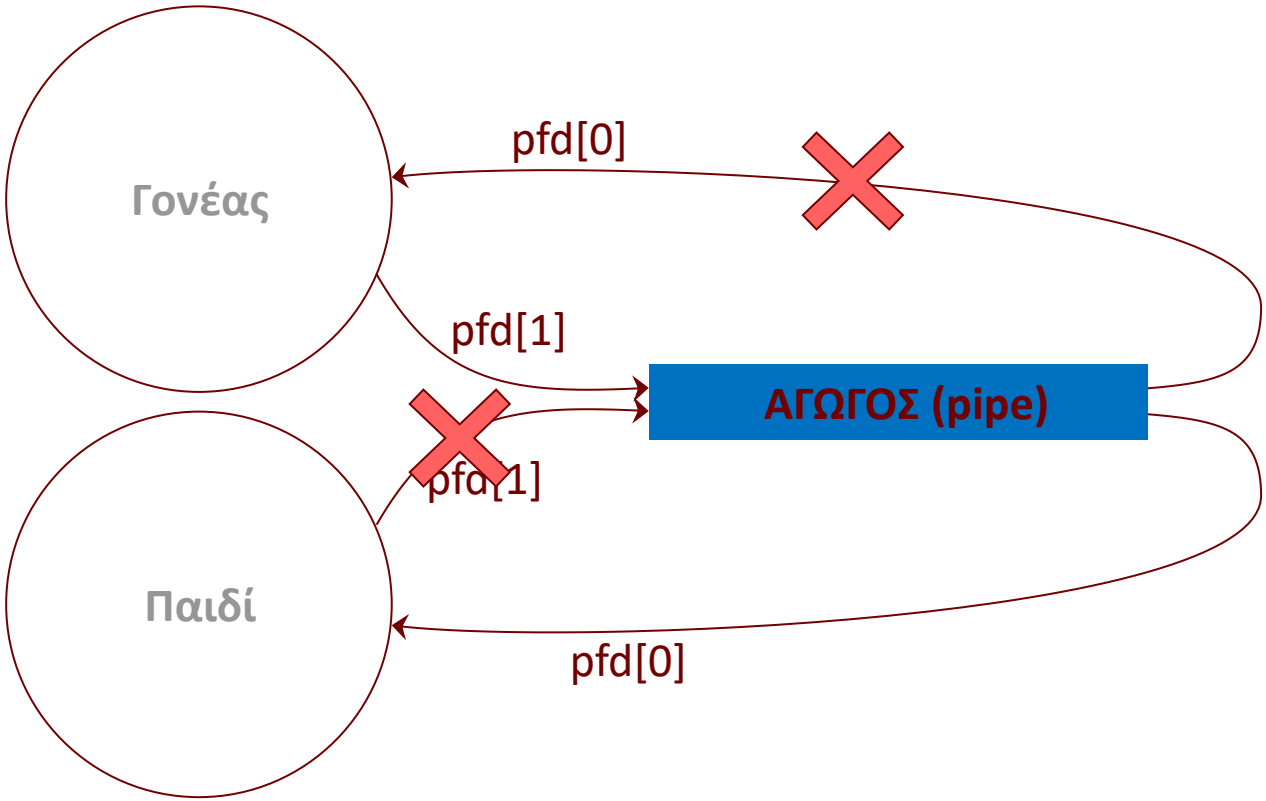
Παράδειγμα – δημιουργία pipe



Παράδειγμα – fork() και κληρονομιά pipe

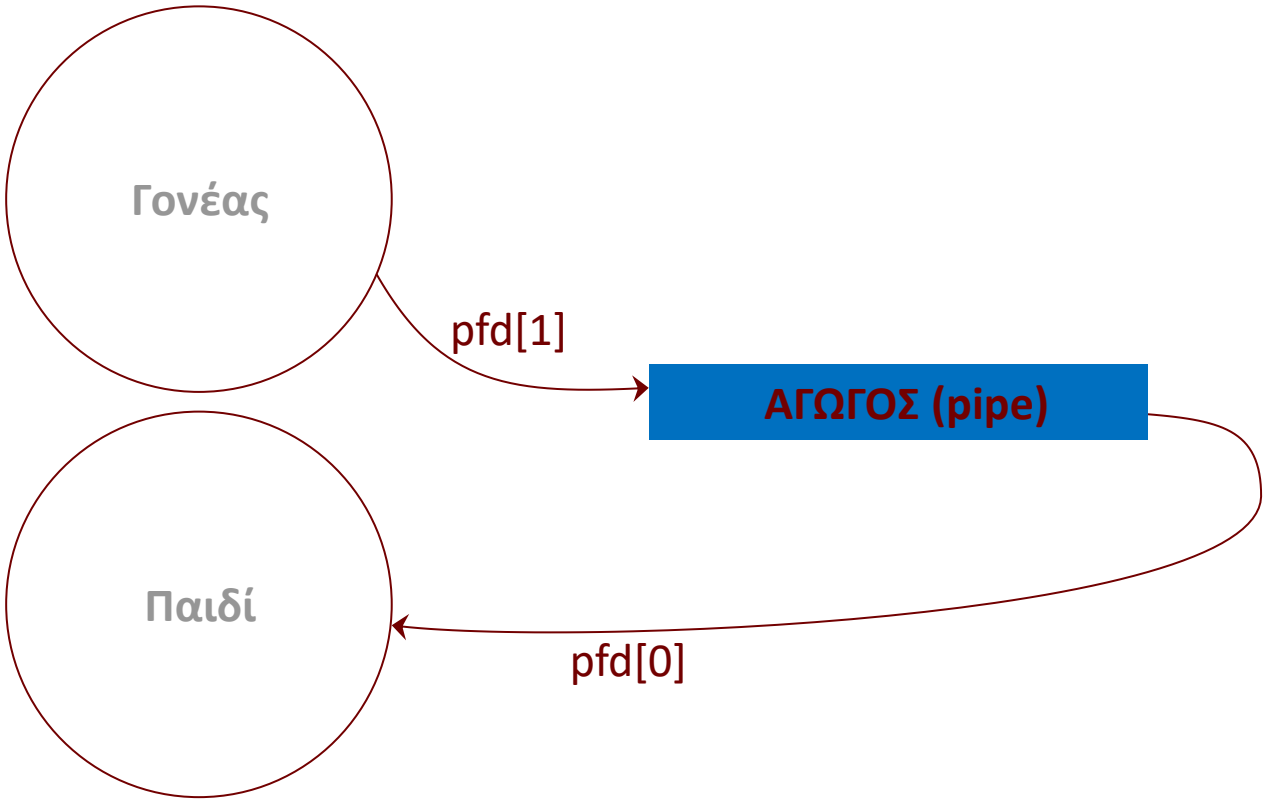


Παράδειγμα – κλείσιμο άχρηστων περιγραφέων



Πειράζει να μην κλείσω τους περιγραφείς;;;
Δεν είναι απαραίτητο να κλείσουν! Όμως, ανάλογα με τι θέλουμε να κάνουνε, αν δεν κλείσουν μπορεί να έχουμε προβλήματα (βλ. παρακάτω).

Παράδειγμα – τελική κατάσταση



Εκτέλεση παραδείγματος & λεπτομέρειες

- Εκτέλεση:

```
$ ./a.out
(23299) - I am the parent; sending hello message.
(23300) - I am the child.
(23300) - read 2 bytes from the pipe [he]
(23300) - read 2 bytes from the pipe [ll]
(23300) - read 2 bytes from the pipe [o!]
(23300) - read 1 bytes from the pipe [!]
```

- Μερικές λεπτομέρειες:
  - **Όταν ο εγγραφέας κάνει close()**, στον αναγνώστη η read() θα επιστρέψει 0 (EOF-End of File), αφού όμως πρώτα διαβάσει όσα bytes είχαν ήδη γραφτεί.
    - Οποιοδήποτε δυαδικό αρχείο (άρα και ένας αγωγός) **παραμένει ανοικτό όσο υπάρχουν ανοικτοί περιγραφείς**
    - *Για αυτό το παιδί κλείνει το pfd[1] όταν ξεκινάει* – έτσι θα λάβει EOF μόλις κλείσει το pfd[1] και ο γονέας (εγγραφέας).
  - Μπορεί να γράφει συνεχώς ο εγγραφέας ακόμα κι όταν δεν κάνει read() ο αναγνώστης;
    - Απάντηση: όχι – υπάρχει περιορισμένος χώρος (συνήθως 512 bytes). Αν γεμίσει, τότε ο εγγραφέας **μπλοκάρει** μέχρι ο αναγνώστης να αδειάσει χώρο με την read().

Αγωγοί και exec, I

- Τι γίνεται αν το παιδί κάνει exec??
  - Τι γίνεται με τα pipes που έχει ανοίξει ο πατέρας;
  - Η διεργασία-παιδί τα κληρονομεί ΟΚ. Όμως τα γνωρίζει το νέο πρόγραμμα που θα εκτελεστεί με την exec και αν ναι, πώς;
- Απάντηση:
  - Όπως είχαμε πει, οι κλήσεις τύπου exec δεν δημιουργούν νέα διεργασία, αλλά διατηρούν την υπάρχουσα η οποία απλά εκτελεί άλλο πρόγραμμα
  - Πολλά πράγματα όπως το process id, το user id, ο τρέχων κατάλογος εργασίας κλπ διατηρούνται.
  - Όπως επίσης και οι ανοιχτοί περιγραφείς αρχείων (file descriptors)
  - Οι οποίοι περιλαμβάνουν και τους περιγραφείς των αγωγών!
  - Επομένως, το πρόγραμμα που θα τρέξει μέσω της exec θα *έχει ανοιχτούς τους ίδιους περιγραφείς αρχείων όπως η διεργασία που το εκτελεί, συμπεριλαμβανομένων και των αγωγών.*

Αγωγοί και exec, II

- Υπάρχει όμως ένα πρόβλημα:
  - ΟΚ, ο αγωγός θα είναι ανοικτός, αλλά πώς θα γνωρίζει το νέο πρόγραμμα ποιοι ακριβώς είναι οι περιγραφείς για τον αγωγό;
    (ώστε να μπορεί να γράψει / διαβάσει από αυτούς;)
- Δηλαδή, στο προηγούμενο παράδειγμα:

```
if (fork() != 0) {  /* Parent */
  close(pfd[0]);      /* No reading by the parent */
  printf("(%d) - I am the parent; sending hello message.\n", getpid());
  write(pfd[1], "hello!!", 7);
}
else {              /* Child */
  close(pfd[1]);      /* No writing by the child */
  printf("(%d) - I am the child. I will exec program ‘pipe2’.\n", getpid());
  execl("./otherprog", " otherprog", NULL);
  printf("execl() failed!\n", getpid());
  }
}
```

πώς θα γνωρίζει το otherprog ποιο είναι το pfd[0] ???

Περνώντας τον αγωγό μέσω exec

- Ο μόνος τρόπος να «περάσουμε» τον περιγραφέα στο πρόγραμμα που θα εκτελεστεί από την exec είναι:

  μέσω ορισμάτων στην main του προγράμματος που θα εκτελεστεί

- Το πρόγραμμα θα πρέπει να έχει ορίσματα στην main() του, τα οποία θα του δώσουν τον ακέραιο αριθμό που αντιπροσωπεύει τον περιγραφέα του αγωγού.
  - Μην ξεχνάμε ότι ο αγωγός είναι ήδη ανοιχτός λόγω της κληρονομιάς της διεργασίας-παιδιού, απλά το νέο πρόγραμμα δεν ξέρει τον αύξων αριθμό του (περιγραφέα).

Παράδειγμα με exec & pipe, I

- Γονική διεργασία & παιδί που εκτελεί exec:

```
int main() {
  int  pfd[2];
  char s[10];

  if (pipe(pfd) < 0) {
    perror("pipe()");
    exit(1);
  }
  if (fork() != 0) {  /* Parent */
    printf("(%d) - I am the parent; pfd[0]=%d, pfd[1]=%d.\n",getpid(),pfd[0],pfd[1]);
    close(pfd[0]);      /* No reading from the parent */
    printf("(%d) - I am the parent; sending hello message.\n", getpid());
    write(pfd[1], "hello!!", 7);
  }
  else {              /* Child */
    close(pfd[1]);      /* No writing by the child */
    printf("(%d) - I am the child. I will exec otherprog.\n", getpid());
    sprintf(s, "%d", pfd[0]);             /* Write pfd[0] to a string */
    execl("./ otherprog", "otherprog", s, NULL);   /* Pass s as an argument */
    printf("exec() failed!\n");
  }
  return 0;
}
```

Παράδειγμα με exec & pipe, II

- Το otherprog.c (μετάφραση με: `gcc –o otherprog otherprog.c`):

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
  int  pfd, n;
  char msg[10];

  if (argc != 2)
    exit(1);
  pfd = atoi(argv[1]);   /* Get the file descriptor */
  printf("(%d) - I am %s. I will read from fd %d\n", getpid(), argv[0], pfd);

  while ((n = read(pfd, msg, 2)) >= 0) {
    if (n == 0) break;  /* EOF */
    printf("(%s) - read %d bytes from the pipe [%.*s]\n", argv[0], n, n, msg);
  }
  if (n < 0) {
    perror("read() from child");
    exit(1);
  }
  return 0;
}
```

Εκτέλεση παραδείγματος

```
$ ./a.out
(23859) - I am the parent; pfd[0]=3, pfd[1]=4.
(23859) - I am the parent; sending hello message.
(23860) - I am the child. I will exec otherprog.
(23860) - I am otherprog. I will read from fd 3
(pipe2) - read 2 bytes from the pipe [he]
(pipe2) - read 2 bytes from the pipe [ll]
(pipe2) - read 2 bytes from the pipe [o!]
(pipe2) - read 1 bytes from the pipe [!]
```

Σύνοψη επικοινωνίας με αγωγούς

1. Ο γονέας δημιουργεί και ανοίγει έναν αγωγό με την pipe().
2. Επιστρέφονται 2 περιγραφείς, στον έναν γίνεται εγγραφή και από τον άλλον διάβασμα.
3. Δημιουργείται διεργασία-παιδί με τη fork(). Το παιδί κληρονομεί τους περιγραφείς.
4. Άμεσο κλείσιμο όσων περιγραφέων δεν χρειαζόμαστε (ώστε να ληφθούν EOF όταν πρέπει).
5. Διάβασμα και γράψιμο γίνεται σαν να πρόκειται για απλό αρχείο, μέσω read() και write().
6. Κάθε διεργασία κλείνει με close().
7. Αν το παιδί εκτελέσει μέσω exec κάποιο άλλο πρόγραμμα, οι περιγραφείς μπορούν να περάσουν στο δεύτερο πρόγραμμα μέσω ορισμάτων στη main() του.

Θέματα με τους αγωγούς: *αμφίδρομη επικοινωνία?*

- Εκτός από τον γονέα, μπορεί να γράφει και το παιδί στον αγωγό για να τα διαβάζει ο γονέας;
- *Απάντηση*:
  η σύντομη και ασφαλής απάντηση είναι: καλύτερα **ΟΧΙ**,
  - παρότι υπό προϋποθέσεις μπορεί και να γίνεται.
- Οι αγωγοί θεωρούνται **μονό-κατευθυντήριες** επικοινωνίες.

- Πώς μπορεί λοιπόν να γράφει ο πατέρας προς το παιδί αλλά και το παιδί να γράφει προς τον πατέρα;
- *Απάντηση*:
  Πρέπει να δημιουργηθούν **δύο ανεξάρτητοι αγωγοί**:
  - στον έναν θα γράφει ο πατέρας και θα διαβάζει το παιδί και
  - στον άλλον θα γράφει το παιδί και θα διαβάζει ο γονέας.

Θέματα με τους αγωγούς: *αν δεν ελέγχουμε το exec?*

❖ Όπως είπαμε πριν:

7. Αν το παιδί εκτελέσει μέσω exec κάποιο άλλο πρόγραμμα, οι περιγραφείς μπορούν να περάσουν στο δεύτερο πρόγραμμα μέσω ορισμάτων στη main() του.

Τι γίνεται αν το πρόγραμμα που εκτελείται μέσω της exec είναι μία έτοιμη εφαρμογή που δεν έχουμε πρόσβαση στον κώδικά της; Πώς μπορεί να ξέρει τον αγωγό μας ώστε να επικοινωνήσουμε μαζί της;

❖ *Απάντηση*:
Βασικά, δεν μπορούμε να κάνουμε τίποτε!

… και δεν γίνεται τίποτε;

- Ξέρουμε κάτι για κάθε εφαρμογή, ακόμα και για αυτές που δεν έχουμε γράψει εμείς;
- Μήπως **όλες** οι εφαρμογές γράφουν κάπου και διαβάζουν από κάπου;

- *Απάντηση*:
  Πάντα έχουν ανοιχτά (υποχρεωτικά) δύο συγκεκριμένα αρχεία,
  - το standard input (με file descriptor 0, για διάβασμα από το πληκτρολόγιο) και
  - το standard output (με file descriptor 1, για γράψιμο στην οθόνη).
- Για λόγους φορητότητας (portability), αντί να χρησιμοποιούμε το 0 για το standard input και 1 για το standard output, πρέπει να χρησιμοποιούμε τα **`STDIN_FILENO`** και **`STDOUT_FILENO`** αντίστοιχα.

… και πώς μας βοηθάει αυτό να επικοινωνήσουμε;

- Από μόνο του δεν βοηθάει. Όμως υπάρχει η εξής ιδέα:
  - μπορούμε με κάποιον τρόπο να «συνδέσουμε» τους αγωγούς μας με την standard input ή/και την standard output της νέας διεργασίας;
  - Έτσι η διεργασία θα πιστεύει ότι διαβάζει π.χ. από το πληκτρολόγιο αλλά στην πράξη τα δεδομένα θα της τα δίνει ο γονέας μέσω ενός αγωγού.
- *Απάντηση*:
  Αυτό όντως θα λειτουργήσει. Αρκεί βέβαια να μπορούμε να το κάνουμε!
- Απαιτείται να μπορούμε να κάνουμε «περίεργες» αλλαγές στους περιγραφείς…

Προγραμματισμός συστημάτων UNIX/POSIX

«Παιχνίδια» με περιγραφείς αρχείων & αγωγούς

MYY502

«Παιχνίδια» με τους περιγραφείς αρχείων

- Υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργήσουμε έναν **νέο (αντίγραφο) περιγραφέα** ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσπέλαση ενός **ήδη ανοιχτού αρχείου**.
- Δηλαδή, *το ίδιο αρχείο μπορούμε να το προσπελάσουμε από δύο διαφορετικούς / ανεξάρτητους περιγραφείς*.
- Μάλιστα μπορούμε να κλείσουμε τον πρώτο αλλά το αρχείο θα παραμείνει ανοιχτό μιας και είναι ανοιχτός ο δεύτερος.

- Δύο είναι οι κλήσεις που πετυχαίνουν τα παραπάνω:
  - `dup()`
  - `dup2()`

Η κλήση dup()

- Δημιουργία αντιγράφου περιγραφέα (υποτίθεται ότι το αρχείο με περιγραφέα fd είναι ήδη ανοιχτό):

```
#include <unistd.h>
int dup(int fd);
```

- Επιστρέφει έναν νέο περιγραφέα, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί να προσπελάσουμε το ίδιο αρχείο με τον fd.
- Για παράδειγμα, το παρακάτω γράφει στην οθόνη:

```
if ((new = dup(STDOUT_FILENO)) > 0) {
  write(new, "Hi!\n", 4);
  close(new);
}
```

Η κλήση dup2()

- Δημιουργία συγκεκριμένου αντιγράφου περιγραφέα (υποτίθεται ότι το αρχείο με περιγραφέα fd είναι ήδη ανοιχτό):

```
#include <unistd.h>
int dup2(int fd, int newfd);
```

- Ο νέος περιγραφέας θα είναι αυτός που δίνουμε (newfd)
- Επιστρέφει τον νέο περιγραφέα (δηλαδή το newfd) αν όλα πάνε καλά, αλλιώς έναν αρνητικό αριθμό.

- **Αν ο newfd χρησιμοποιείται ήδη, η dup2() πρώτα κλείνει το αρχείο του** και στη συνέχεια κάνει τον newfd να προσπελαύνει το αρχείο του fd.
- Για παράδειγμα, το παρακάτω γράφει στην οθόνη μέσω του 8:

```
if (dup2(STDOUT_FILENO, 8) > 0) {
  write(8, "Hi!\n", 4);
  close(8);
}
```

Παράδειγμα dup / dup2

```c
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/stat.h>

int main() {
  int out, bak;

  bak = dup(STDOUT_FILENO);    /* Backup standard output */
  out = open("file.txt", O_CREAT | O_TRUNC | O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
  if (bak < 0 || out < 0) exit(1);

  printf("Hello world 1 \n");

  dup2(out, STDOUT_FILENO);    /* out will be the new standard output */
  close(out);                  /* No longer needed */

  printf("Hello world 2 \n");

  dup2(bak, STDOUT_FILENO);    /* close & restore the original standard output */
  close(bak);                  /* No longer needed */

  printf("Hello world 3 \n");
  return 0;
}
```

Εκτέλεση:

```
$ ./a.out
Hello world 1
Hello world 3
$ cat file.txt
Hello world 2
```

Παράδειγμα με exec & pipe & dups, I

- Γονική διεργασία & παιδί που εκτελεί exec:

```
int main() {
  int  pfd[2];

  if (pipe(pfd) < 0) {
    perror("pipe()");
    exit(1);
  }
  if (fork() != 0) {  /* Parent */
    printf("(%d) - I am the parent; pfd[0]=%d, pfd[1]=%d.\n",getpid(),pfd[0],pfd[1]);
    close(pfd[0]);      /* No reading from the parent */
    printf("(%d) - I am the parent; sending hello message.\n", getpid());
    write(pfd[1], "hello!!", 7);
  }
  else {              /* Child */
    close(pfd[1]);      /* No writing by the child */
    if (dup2(pfd[0], STDIN_FILENO) >= 0) {    /* Duplicate pipe to 0 (std input!) */
      execl("./pipe4", "pipe4", NULL);
      printf("exec() failed!\n");
    }
    perror("dup2");
  }
  return 0;
}
```

Παράδειγμα με exec & pipe & dups, II

- Το pipe4.c (μετάφραση με: `gcc -o pipe4 pipe4.c`):

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

int main() {
  int  n;
  char msg[10];

  printf("(%d) - I am pipe4. I will read standard input.\n", getpid());

  while ((n = read(STDIN_FILENO, msg, 2)) >= 0) {
    if (n == 0) break;  /* EOF */
    printf("(pipe4) - read %d bytes [%.*s]\n", n, n, msg);
  }
  if (n < 0) {
    perror("read() from child");
    exit(1);
  }
  return 0;
}
```

Εκτέλεση παραδείγματος

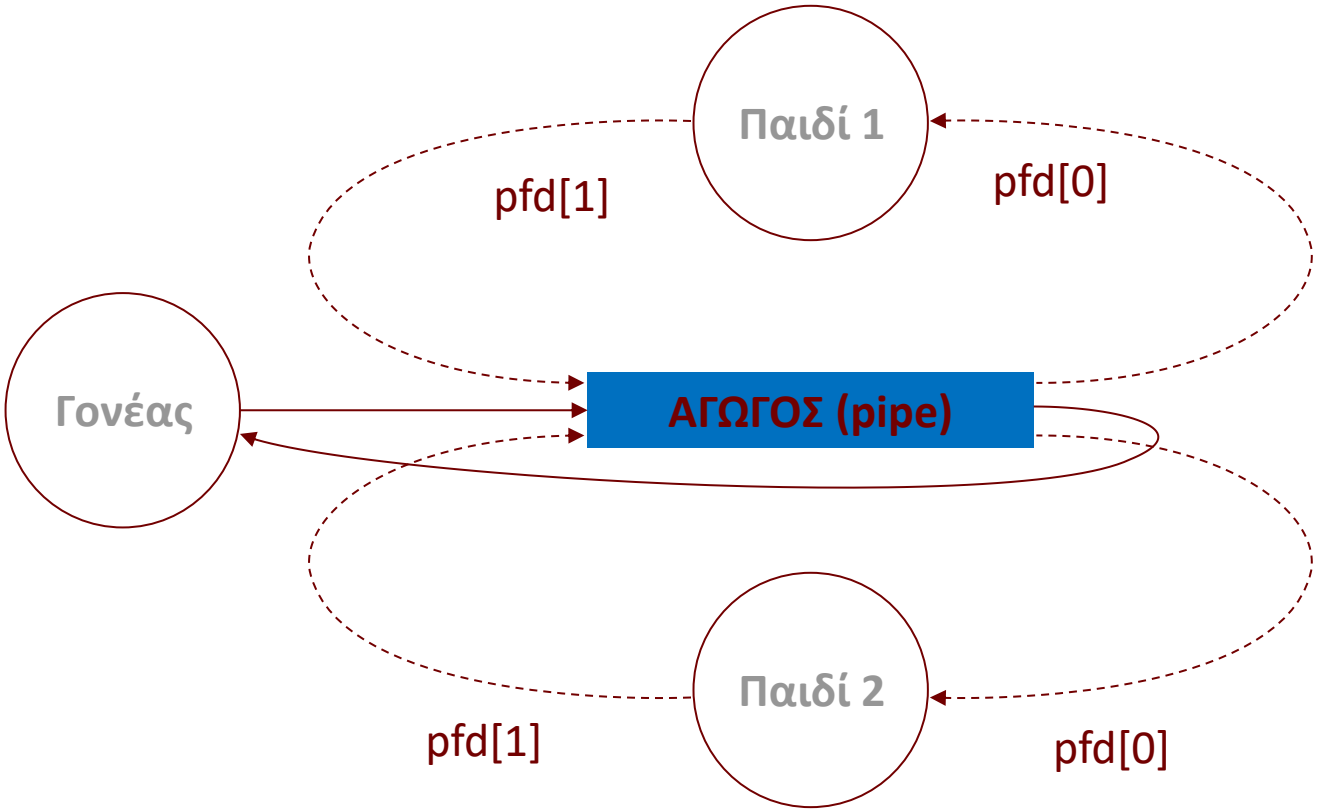
```
$ ./a.out
(24365) - I am the parent; pfd[0]=3, pfd[1]=4.
(24365) - I am the parent; sending hello message.
(24366) - I am the child. I will exec pipe4.
(24366) - I am pipe4. I will read standard input.
(pipe4) - read 2 bytes [he]
(pipe4) - read 2 bytes [ll]
(pipe4) - read 2 bytes [o!]
(pipe4) - read 1 bytes [!]
```

Επιπλέον παράδειγμα: 2 παιδιά

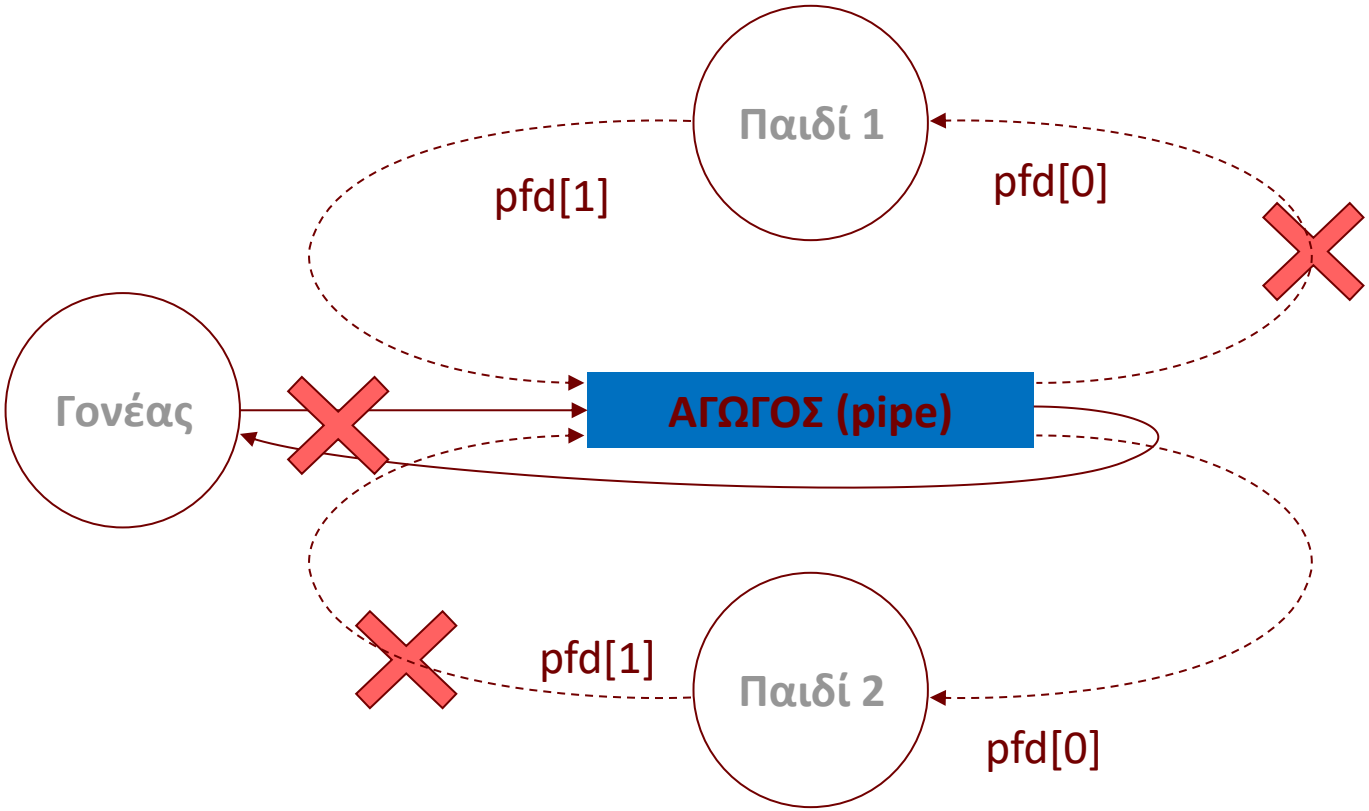
- Δημιουργήστε πρόγραμμα όπου η γονική διεργασία δημιουργεί **δύο (2)** παιδιά, όπου το πρώτο εκτελεί την εντολή "`ls -l`" και, μέσω αγωγού, στέλνει την έξοδο της εντολής στο δεύτερο παιδί, το οποίο εκτελεί την εντολή "`wc`".

- Λύση:
  - Ο πατέρας θα δημιουργήσει έναν αγωγό
  - Στη συνέχεια θα δημιουργήσει 2 παιδιά
  - Τα παιδιά θα αντιγράψουν τα κατάλληλα άκρα του αγωγού με dup2() στο stdin/stdout
  - Τα παιδιά θα κάνουν exec.

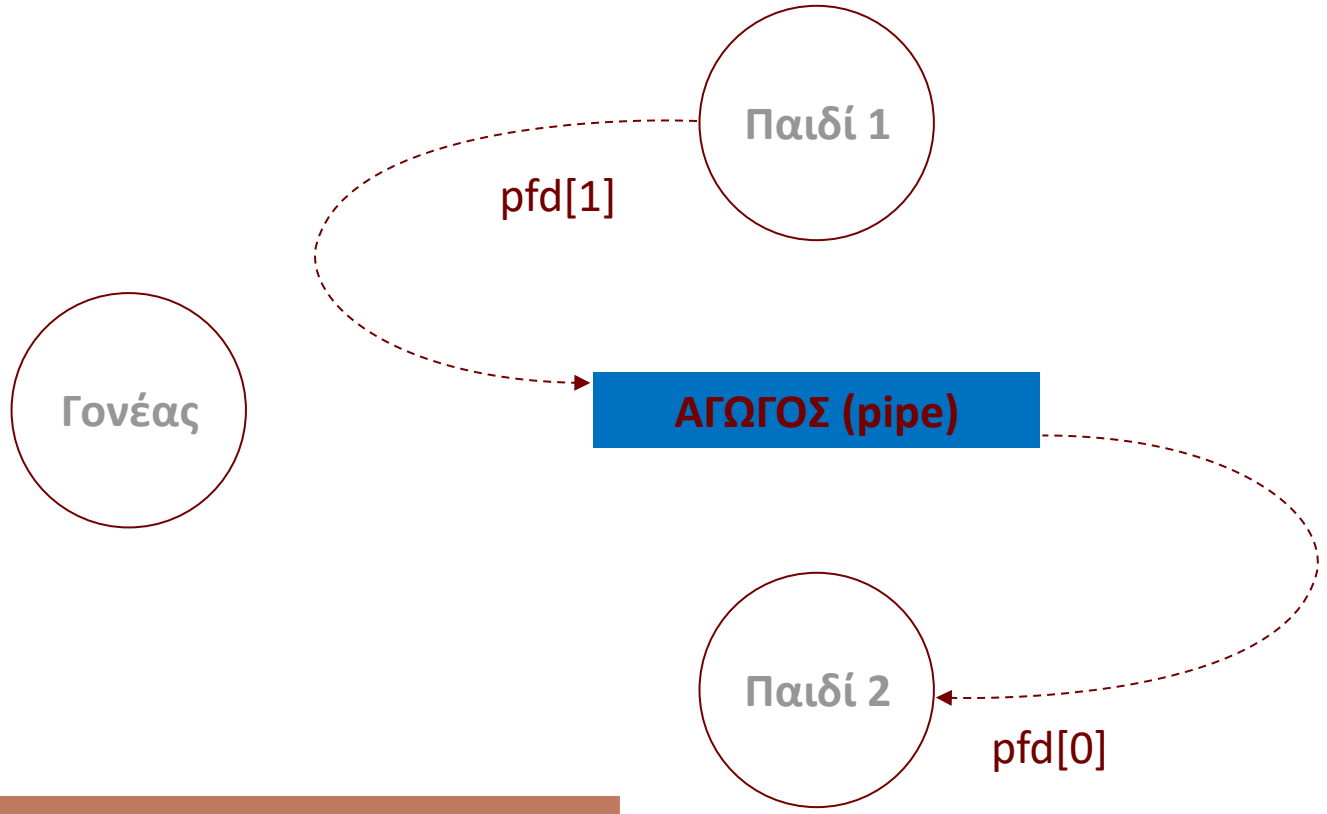
Σχηματισμός αγωγού



Σχηματισμός αγωγού



Σχηματισμός αγωγού



Υπενθύμιση:
θα πείραζε αν ΔΕΝ κλείναμε τους περιγραφείς και τους αφήναμε όλους ανοιχτούς;

Ο κώδικας

```
int main() {
  int  pfd[2];

  if (pipe(pfd) < 0) {
    perror("pipe()"); exit(1);
  }

  if (fork() == 0) {      /* child 1 */
    close(pfd[0]);        /* No reading from the pipe */
    if (dup2(pfd[1], STDOUT_FILENO) >= 0) {   /* Dup to std output */
      close(pfd[1]);                          /* No longer needed! */
      execl("/bin/ls", "ls", "-l", NULL);
      printf("exec() failed from child 1!\n");
    }
    perror("dup2 from child 1"); exit (1);
  }

  if (fork() == 0) {      /* child 2 */
    close(pfd[1]);        /* No writing to the pipe */
    if (dup2(pfd[0], STDIN_FILENO) >= 0) {    /* Dup to std input */
      close(pfd[0]);                          /* No longer needed! */
      execl("/usr/bin/wc", "wc", NULL);
      printf("exec() failed from child 2!\n");
    }
    perror("dup2 from child 2"); exit (1);
  }
  ...                     /* Parent code */
  return 0;
}
```

Είναι κάτι που πρέπει να κάνει ο γονέας αν θέλει να περιμένει να τελειώσουν τα παιδιά του;