Process control

中正大學，作業系統實驗室
羅習五 陽春副教授
shiwulo@gmail.com

大綱

- programs & processes
- fork()
- wait()
- zombie process
- execve() functions
- vfork() & execv()

Task的屬性繼承

- 繼承分為『顯性的』與『隱性的』
  - 顯性
  - 隱性
- fork下的繼承
- execv下的繼承

Program & process

proc/pid

```
$ls /proc/
dr-xr-xr-x   9 root             root                0 May 16 15:09 1
dr-xr-xr-x   9 root             root                0 May 16 15:09 10
dr-xr-xr-x   9 gdm              gdm                 0 May 16 15:09 1005
dr-xr-xr-x   9 root             root                0 May 16 15:09 1010
...
```

proc/pid

```
$cd /proc/1
$sudo ls -alh
-r--r--r--   1 root root 0 May 16 15:09 cmdline
-rw-r--r--   1 root root 0 May 16 15:09 comm
-rw-r--r--   1 root root 0 May 16 15:10 coredump_filter
-r--r--r--   1 root root 0 May 16 15:10 cpuset
lrwxrwxrwx   1 root root 0 May 16 15:10 cwd -> /
-r--------   1 root root 0 May 16 15:09 environ
lrwxrwxrwx   1 root root 0 May 16 15:09 exe -> /lib/systemd/systemd
```

/proc

```
$less /proc/cpuinfo
processor       : 0
vendor_id       : GenuineIntel
cpu family      : 6
model           : 94
model name      : Intel(R) Core(TM) i7-6770HQ CPU @ 2.60GHz
stepping        : 3
microcode       : 0x8a
cpu MHz         : 934.251
cache size      : 6144 KB
```

/proc/irq

```
/proc$ less interrupts
           CPU0       CPU1       CPU2       CPU3       CPU4       CPU5       CPU6       CPU7
  0:         39          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    2-edge      timer
  3:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    3-edge      nuvoton-cir
  8:          0          0          0          1          0          0          0          0  IR-IO-APIC    8-edge      rtc0
  9:          0          5          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    9-fasteoi   acpi
 17:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC   17-fasteoi   mmc0
120:          0          0          0          0          0          0          0          0  DMAR-MSI    0-edge      dmar0
121:          0          0          0          0          0          0          0          0  DMAR-MSI    1-edge      dmar1
122:          0          0        653          0          0       2698          0          0  IR-PCI-MSI 327680-edge      xhci_hcd
123:          0          0          0          0     184113          0          0          0  IR-PCI-MSI 376832-edge      ahci[0000:00:17.0]
124:          0          0          0          0          0      43161        427          0  IR-PCI-MSI 520192-edge      eno1
```

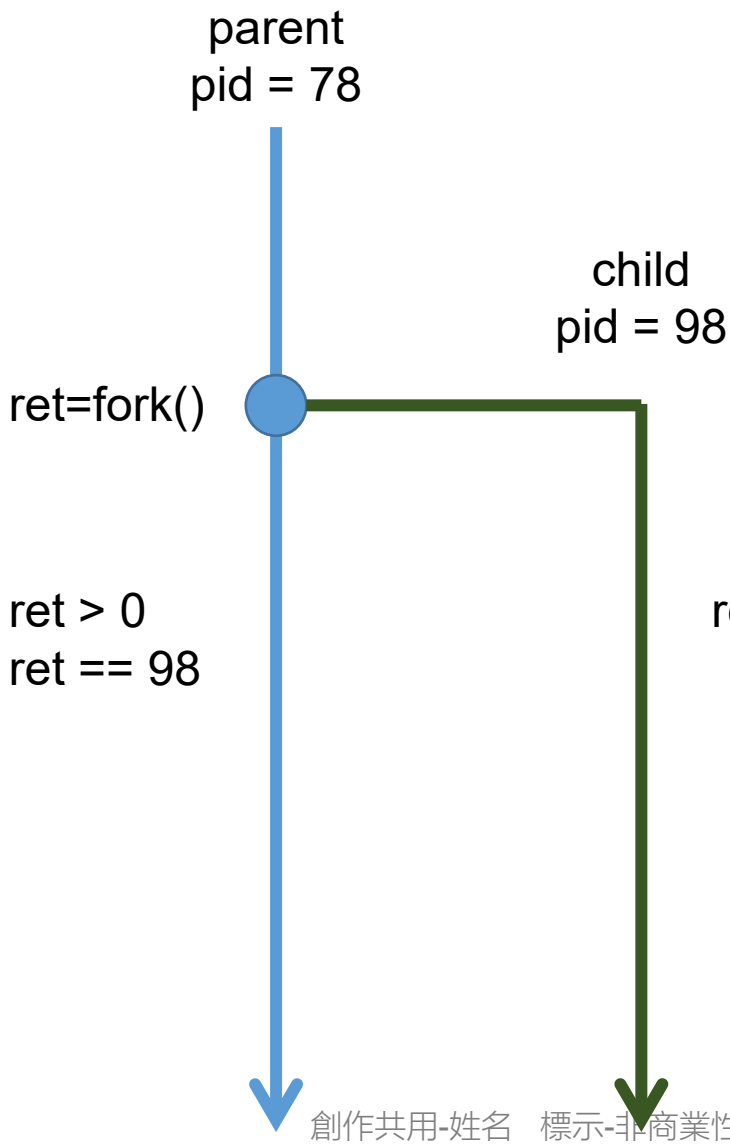
fork

fork()

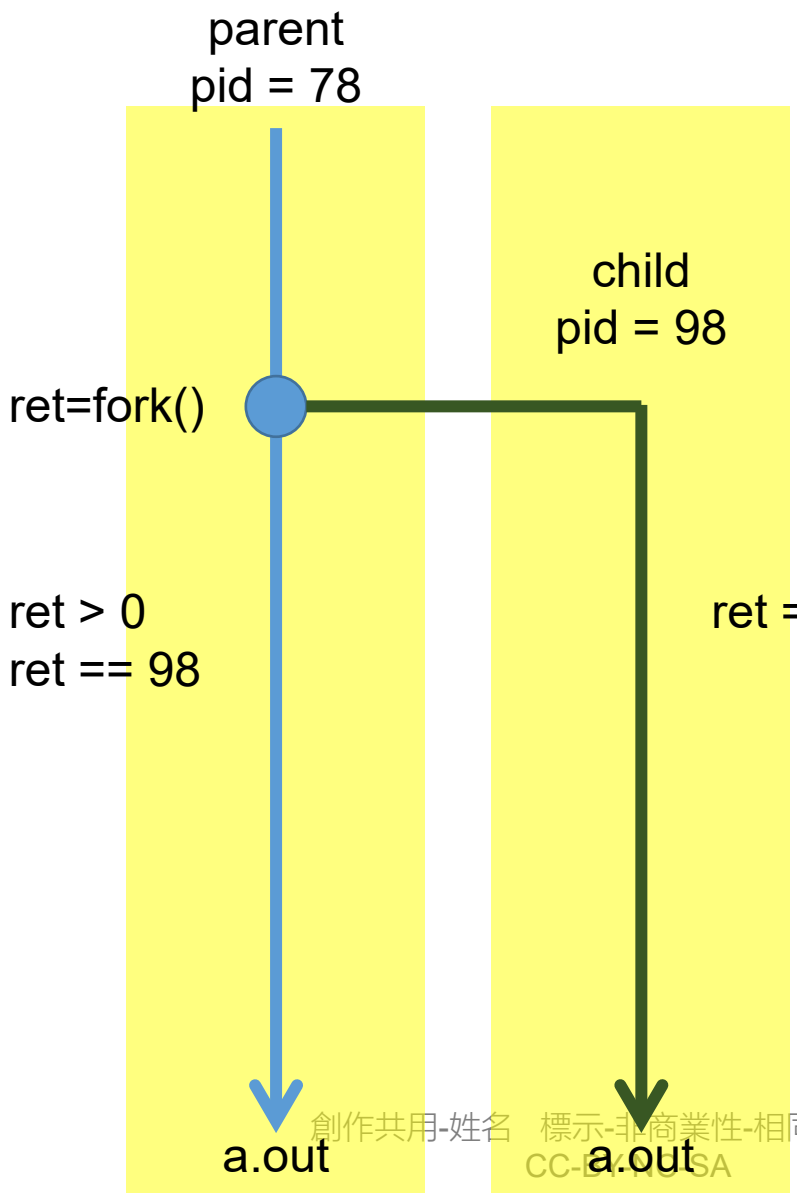
- #include <unistd.h>
- pid_t fork(void);

- POSIX 作業系統的標準中，新的程序均需藉由呼叫fork()函數而產生
  - 父程序(parent process)：呼叫fork()函數的程序。
  - 子程序(child process)：fork()回傳後，新產生的程序。
- 回傳值：
  - Parent：child's pid
  - Child：0
  - 失敗：-1
- fork()功用
  - 分工合作：父程序與一個以上的子程序，共同分工合作完成任務。
  - 執行新程式：由子程序執行新的程式，父程序可選擇等待或不等子程序完成執行程式。

fork()



fork()



fork1.c

```
1.  #include <stdio.h>
2.  #include <unistd.h>
3.  int main()
4.  {
5.      int var = 0;
6.      pid_t pid;
7.      pid = fork();
8.      printf("%d", var);
9.      if(pid == 0) { /* child 執行 */
10.         var = 1;
11.     }
12.     else if (pid > 0) { /* parent 執行 */
13.         var = 2;
14.     }
15.     printf("%d", var)
16.     return 0;
17. }
```

fork1.c

- 利用fork()的回傳值（亦即pid)進行父程序與子程序各自需要完成任務的程式碼區分
- 各程序的執行結果：
  - 父程序：02
  - 子程序：01
- 然而，系統並沒有限制兩個程序的執行順序
  - 若fork()成功，執行結果可能為：0012, 0021, 0102, 或 0201
  - 若fork()失敗，執行結果為：00
- 你的實際結果是？
  - Linux的執行順序其實是固定的
  - /proc/sys/kernel/sched_child_runs_first

調換fork與printf(frok2.c)，其輸出結果為?

```
1.  #include <stdio.h>
2.  #include <unistd.h>
3.  int main()
4.  {
5.      int var = 0;
6.      pid_t pid;
7.      printf("%d", var);
8.      pid = fork();
9.      if(pid == 0) {        /* child 執行 */
10.         var = 1;
11.     } else if (pid > 0) {   /* parent 執行 */
12.         var = 2;
13.     }
14.     printf("%d", var)
15.     return 0;
16. }
```

printf是line buffer

- 『printf(“%d”, var);』會被queue起來，放在buffer中
- fork時，會將所有記憶體，包含buffer複製出一份


對fork
除錯

debug fork()

- When a program forks, gdb will continue to debug the parent process and the child process will run unimpeded.
  - ~~If you have set a breakpoint in any code which the child then executes, the child will get a SIGTRAP signal which (unless it catches the signal) will cause it to terminate.~~ ???
  - testDebug.c
- debugging the child process
  - using touch commend (hint: put sleep after fork)
  - debug child process instead of parent process (using "**set follow-fork-mode child**"

http://sourceware.org/gdb/onlinedocs/gdb/Forks.html
http://www.cnblogs.com/zhenjing/archive/2011/06/01/gdb_fork.html

debug fork() – debugFork1.c

```
$gdb debugFork1
(gdb)b main   /*set a breakpoint*/
(gdb)r        /*run*/
(gdb)n        /*next*/
(gdb) show follow-fork-mode
```

Debugger reponse to a program call of fork or vfork is “parent”

```
(gdb)c        /*continue*/
```

debug fork() – debugFork1.c

```
...
(gdb) set follow-fork-mode child
(gdb) n
...
(gdb) p pid /*child OR parent?*/
```

debug fork() – debugFork2.c

```
$gdb debugFork2
(gdb) b 9
(gdb) r
(gdb) n
(gdb) p pid 29979
```

```
/*
開第二個terminal
*/
$sudo gdb debugFrok2
(gdb) attach 29979
(gdb) set waiting=0
/*continue*/
```

debugFork2.c

```
1.  #include <stdio.h>
2.  #include <unistd.h>
3.
4.  int main(void) {
5.      pid_t   pid;
6.      int waiting = 1;
7.
8.      if ( (pid = fork()) == 0) {
9.          while(waiting)
10.             ;
11.         printf("child");
12.     } else {
13.         printf("child's pid = %d\n",
14.             pid);
15.         printf("parent");
16.     }
17.     return 0;
18. }
```


wait()
FIREFIGHTUX
18

等待子程序狀態轉換： wait()

- 當子程序狀態轉換時，父程序負責處理其狀態。
  - 子程序**結束**：父程序等待後，可使子程序所佔用的資源釋放還給系統。
    - 若父程序沒有等帶子程序，子程序會變成殭屍程序(zombie process)。
  - 子程序收到號誌後**暫停**運行 (stopped)。
  - 子程序收到號誌後**恢復**運行 (resumed)。
  - 號誌（singnal）將在下個章節介紹

wait & waitpid

- #include <sys/types.h>
- #include <sys/wait.h>
- pid_t wait(int *wstatus);
- pid_t waitpid(pid_t pid, int *wstatus, int options);

- 回傳值:
  - 「大致上」成功傳回該child的pid，失敗的話回傳-1
  - 詳細的部分請看man 2 wait

wait(int *wstatus);

檢查子程序狀態可使用表中的macro。號誌（signal）下一節介紹。

MACRO	描述
WIFEXITED(status)	TRUE，若子程序正常結束
WEXITSTATUS(status)	子程序結束狀態 (exit status)
WIFSIGNALED(status)	TRUE，若子程序被號誌終止
WTERMSIG(status)	子程序被號誌終止的號誌編號 (signal number)
WCOREDUMP(status)	TRUE，若子程序有產生CORE檔
WIFSTOPPED(status)	TRUE，若子程序被號誌暫停
WSTOPSIG(status)	子程序被號誌暫停的號誌編號 (signal number)
WIFCONTINUED(status)	TRUE，若子程序收到SIGCONT號誌而恢復運行

waitpid(**pid**, *wstatus, opt)

The value of pid can be:

< -1	任意一個group id為|pid|的child結束
-1	任意的一個child
0	任意一個跟自己的group id一樣的child結束
> 0	等process ID為pid的child結束

Process group

```
$ ls sp -R | egrep "\\.c$" | wc -l
335
/*共有ls, egrep, wc三個程式一起完成工作, bash將這三個程式設成同一個process group*/
```

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int setpgid(pid_t pid, pid_t pgid);
pid_t getpgid(pid_t pid);
/*設定process group的function, 請自行查閱*/
```

waitpid(pid, *wstatus, **opt**)

The value of options is an OR of zero or more of the following constants:

簡單來說，就是當child還未結束時，parent想要知道child的狀態

WNOHANG	return immediately if no child has exited.
WUNTRACED	also return if a child has stopped (but not traced via ptrace(2)，簡單來說被ptrace就是被debug).
WCONTINUED	also return if a stopped child has been resumed by delivery of SIGCONT. （SIGCONT是signal，下個章節介紹）

wait.c

```
1.  int main(int argc, char *argv[]) {
2.      pid_t cpid, w;
3.      int wstatus;
4.      cpid = fork();
5.      if (cpid == 0) {            /* Code executed by child */
6.          printf("Child PID is %ld\n", (long) getpid());
7.          pause();                /* Wait for signals */
8.      }
```

```
9.      else {              /* Code executed by parent */
10.         do {
11.             w = waitpid(cpid, &wstatus, WUNTRACED | WCONTINUED);
12.             if (WIFEXITED(wstatus))
13.                 printf("Parent: child is exited, status=%d\n", WEXITSTATUS(wstatus));
14.             if (WIFSIGNALED(wstatus))
15.                 printf("Parent: child is killed by signal %d\n", WTERMSIG(wstatus));
16.             if (WIFSTOPPED(wstatus))
17.                 printf("Parent: child is stopped by signal %d\n", WSTOPSIG(wstatus));
18.             if (WIFCONTINUED(wstatus))
19.                 printf("Parent: child is continued\n");
20.         } while (!WIFEXITED(wstatus) && !WIFSIGNALED(wstatus));
21.         /*當子行程沒有結束並且沒有被signal終止*/
22.         printf("Parent: bye bye\n");
23.         exit(EXIT_SUCCESS);
24.     }
25. }
```

pause()

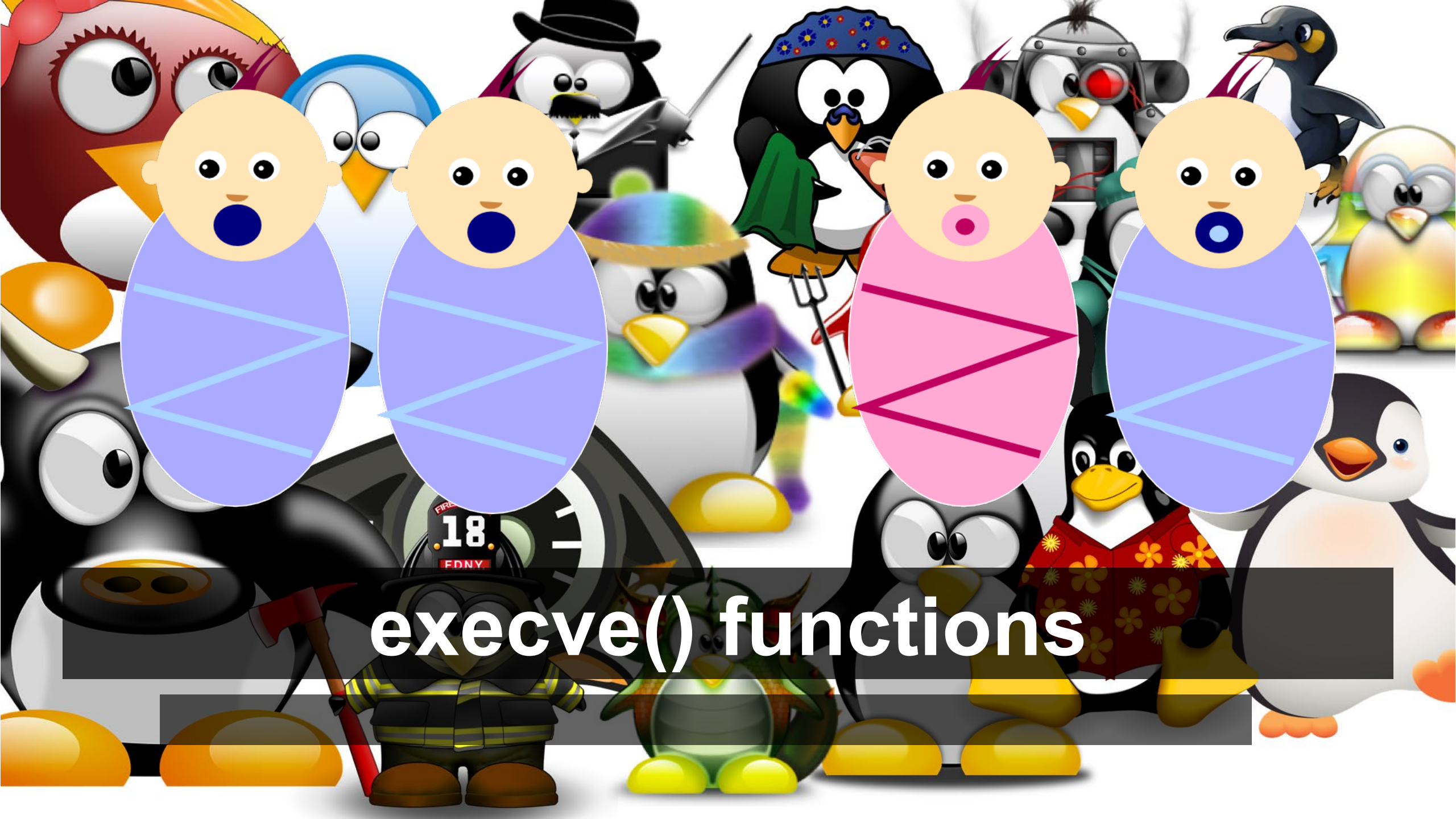
```
1. #include <unistd.h>
2. int pause(void);
```

用途：讓行程一直睡覺，直到遇到終止號誌（signal），或者遇到可以處理的號誌

執行結果

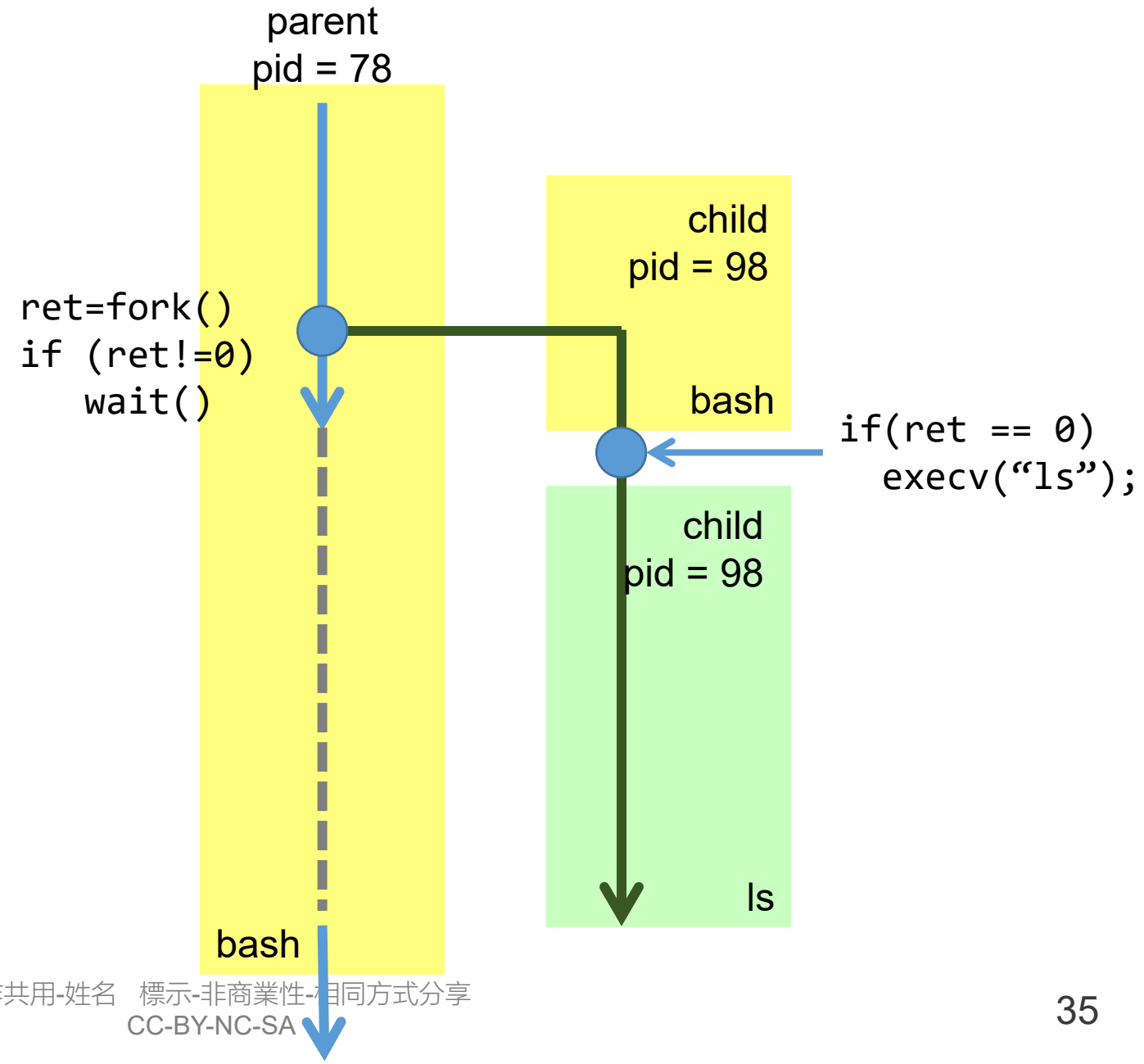
```
$ ./wait
Child PID is 9006
Parent: child is stopped by signal 19
Parent: child is continued
Parent: child is killed by signal 15
Parent: bye bye
```

```
$ kill -STOP 9006
$ kill -STOP 9006
$ kill -CONT 9006
$ kill -TERM 9006
```



execve() functions

fork() + execve



execve-family

```
#include <unistd.h>
extern char **environ;
int execl(const char *path, const char *arg, ...
/* (char  *) NULL */);
int execlp(const char *file, const char *arg, ...
/* (char  *) NULL */);
int execle(const char *path, const char *arg, ...
/*, (char *) NULL, char * const envp[] */);
int execv(const char *path, char *const argv[]);
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
int execvpe(const char *file, char *const argv[],
        char *const envp[]);
```

execve-family

- execl, execlp, and execle的第二個以後的參數是一群字串，「習慣上」第一個字串是執行檔本身，最後一個參數必須是(char*)NULL
- execv, execvp, execvpe的第二個參數是：字串陣列
- execle, execvpe環境變數放在envp
- 失敗回傳-1，錯誤訊息放在errno

execve-family

- The **execlp**(), **execvp**(), and **execvpe**() 如果執行檔的path-name沒有"/"那麼這幾個函數會依照PATH搜尋執行檔。
- 例如:

```
$ echo $PATH
/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/usr/games:/usr/local/games:/snap/bin
```

execve-family

- 表格整理

	list			vector		
參考PATH?	NO	YES	NO	NO	YES	YES
參考environ?	YES	YES	NO	YES	YES	NO
函數	execl()	execlp()	execle()	execv()	execvp()	execvpe()

myShell.c（完整程式碼請直接看.c檔）

```
1.  char* argVect[256];
2.  int main (int argc, char** argv) {
3.      while(1) {
4.          printf("myShell$ ");
5.          fgets(cmdLine, 4096, stdin);
6.          parseString(cmdLine, &exeName);
7.          if (strcmp(exeName, "exit") == 0)
8.              break;
9.          pid = fork();
10.         if (pid == 0)
11.             execvp(exeName, argVect);
12.         else
13.             wait(&wstatus);
14.     }
15. }
```

```
16. void parseString(char* str, char** cmd) {
17.     int idx=0;
18.     char* retPtr;
19.     retPtr=strtok(str, " \n");
20.     while(retPtr != NULL) {
21.         argVect[idx++] = retPtr;
22.         if (idx==1)
23.             *cmd = retPtr;
24.         retPtr=strtok(NULL, " \n");
25.     }
26.     argVect[idx]=NULL;
27. }
```

執行結果

```
$ ./myShell
shiwulo@NUC:~/Dropbox/course/2018-sp/ch09>> ls *.c
ls: cannot access '*.c': No such file or directory
return value of ls is 2
shiwulo@NUC:~/Dropbox/course/2018-sp/ch09>> ls myShell myShell.c -lh
-rwxr-xr-x 1 shiwulo shiwulo  17K May 17 13:08 myShell
-rw-rw-r-- 1 shiwulo shiwulo 4.1K May 17 13:08 myShell.c
return value of ls is 0
shiwulo@NUC:~/Dropbox/course/2018-sp/ch09>> ls myShell myShell.c -lh --color
-rwxr-xr-x 1 shiwulo shiwulo  17K May 17 13:08 myShell
-rw-rw-r-- 1 shiwulo shiwulo 4.1K May 17 13:08 myShell.c
return value of ls is 0
shiwulo@NUC:~/Dropbox/course/2018-sp/ch09>> cd ~
shiwulo@NUC:~>> ggg
myShell: No such file or directory
return value of ggg is 254
```

System call - execve

```
#include <unistd.h>

int execve(const char *filename, char *const argv[], char *const envp[]);
```

install kdbg

使用校內網路

```
$ sudo wget -O /etc/apt/source.list
http://lonux.cs.ccu.edu.tw/source.list.17.10

$sudo apt install kdbg
```


vfork & execve

Windows建立行程

```
BOOL WINAPI CreateProcess(
_In_opt_    LPCTSTR                lpApplicationName,
_Inout_opt_ LPTSTR                 lpCommandLine,
_In_opt_    LPSECURITY_ATTRIBUTES  lpProcessAttributes,
_In_opt_    LPSECURITY_ATTRIBUTES  lpThreadAttributes,
_In_        BOOL                   bInheritHandles,
_In_        DWORD                  dwCreationFlags,
_In_opt_    LPVOID                 lpEnvironment,
_In_opt_    LPCTSTR                lpCurrentDirectory,
_In_        LPSTARTUPINFO          lpStartupInfo,
_Out_       LPPROCESS_INFORMATION  lpProcessInformation );
```

Linux vs. Windows：於執行新的program

- Linux要二個system call
  - fork產生行程
  - execve將新的執行檔放到這個新的行程的記憶體空間
- Windows只需要一個system call
  - 即CreateProcess(..., filename,...)
- Linux的設計較適合用來設計server
  - http, ftp, BBS等
  - 上述server在每一個使用者連線以後，都執行相同的執行檔
  - 換言之，只要fork就可以服務一個client

fork vs. vfork

```
1.  #include <sys/types.h>
2.  #include <unistd.h>
3.  #include <stdlib.h>
4.  #include <stdio.h>
5.  int main(int argc, char** argv) {
6.      int i, num, pid, wstatus;
7.      sscanf(argv[1], "%d", &num);
8.      for (int i=0; i<num; i++) {
9.          pid = fork();
10.         if (pid==0) exit(0);
11.         if (pid != 0) continue;
12.     }
13. }
```

fork vs. vfork

```
1.  #include <sys/types.h>
2.  #include <unistd.h>
3.  #include <stdlib.h>
4.  #include <stdio.h>
5.  int main(int argc, char** argv) {
6.      int i, num, pid, wstatus;
7.      sscanf(argv[1], "%d", &num);
8.      for (int i=0; i<num; i++) {
9.          pid = vfork();
10.         if (pid==0) exit(0);
11.         if (pid != 0) continue;
12.     }
13. }
```

比較

manyFork

```
$ time ./manyFork 100000
real 0m1.810s
user 0m0.073s
sys 0m1.612s
```

manyVFork

```
$time ./manyVFork 100000
real 0m0.534s
user 0m0.005s
sys 0m0.404s
```

使用vfork替代fork

"只有在fork後馬上跟著execve時才用vfork"

否則child會改到parent的資料，這通常是我們不樂見的

使用vfork替代fork

vfork並不能完全取代fork

因為parent會暫停執行，直到child執行execve或結束

使用vfork替代fork

- 在上述前提下，可以直接將fork改成vfork
- 課堂作業：

  將myShell改用vfork

殭屍問題（zombie process）

zombie.c

```
1.  int main(int argc, char** argv) {
2.      int i, num, pid, wstatus;
3.      sscanf(argv[1], "%d", &num);
4.      for (int i=0; i<num; i++) {
5.          pid = vfork();
6.          if (pid==0) exit(0);
7.          if (pid != 0) continue;
8.      }
9.      if (pid != 0)
10.         getchar();
11. }
```

結果

產生zombie

```
./zombie 10000
```

觀察

```
$ps -a
32753 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32754 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32755 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32756 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32757 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32758 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32759 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
32760 pts/0    00:00:00 zombie <defunct>
```

結果 – 造成的影響

```
$ sudo less /proc/slabinfo | grep task_struct
# name            <active_objs>    <num_objs>        <objsize>
task_struct       10257            10280             6016

/*總共浪費掉10257*6016 = 58.84MB核心記憶體*/
$ ulimit -a | grep process
max user processes              (-u) 127320
/*每個使用者可以開啟的process數量有限, zombie process也算在內*/
/*zombie process沒辦法kill掉*/
```

- 因此parent一定要執行wait(),將child回收
- 但如果忘記,怎麼辦!?

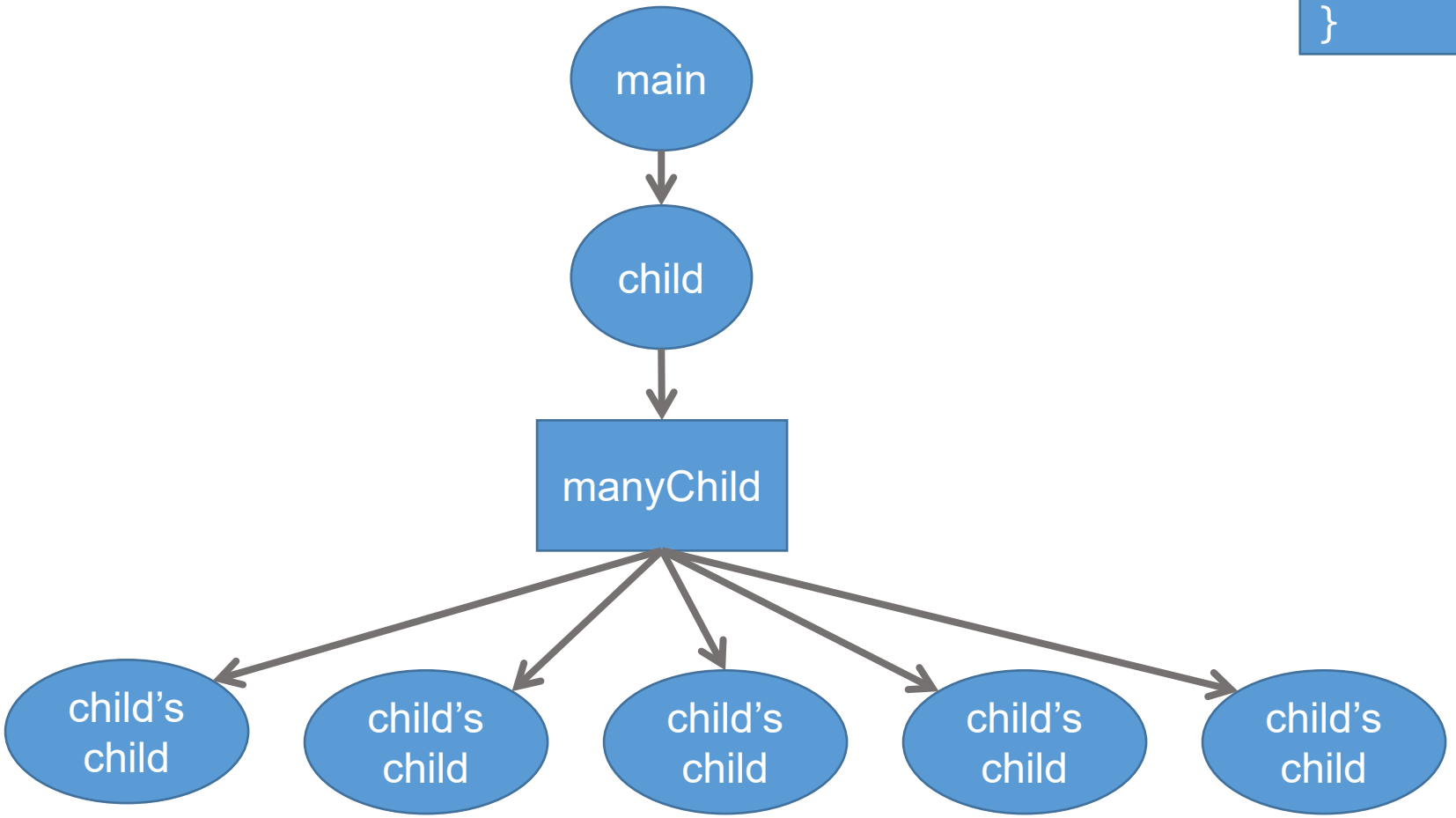
解決方法 NoZombie.c

```
1.  void manyChild(int num) {
2.      int i, pid;
3.      for (int i=0; i<num; i++) {
4.          pid = vfork();
5.          if (pid == 0) exit(0);
6.          if (pid != 0) continue;
7.      }
8.  }
```

```
9.  int main(int argc, char** argv) {
10.     int pid, num;
11.     sscanf(argv[1], "%d", &num);
12.     pid = fork();
13.     if (pid == 0) {
14.         manyChild(num);
15.         exit(0);
16.     }
17.     getchar();/*main處理其他工作*/
18. }
```

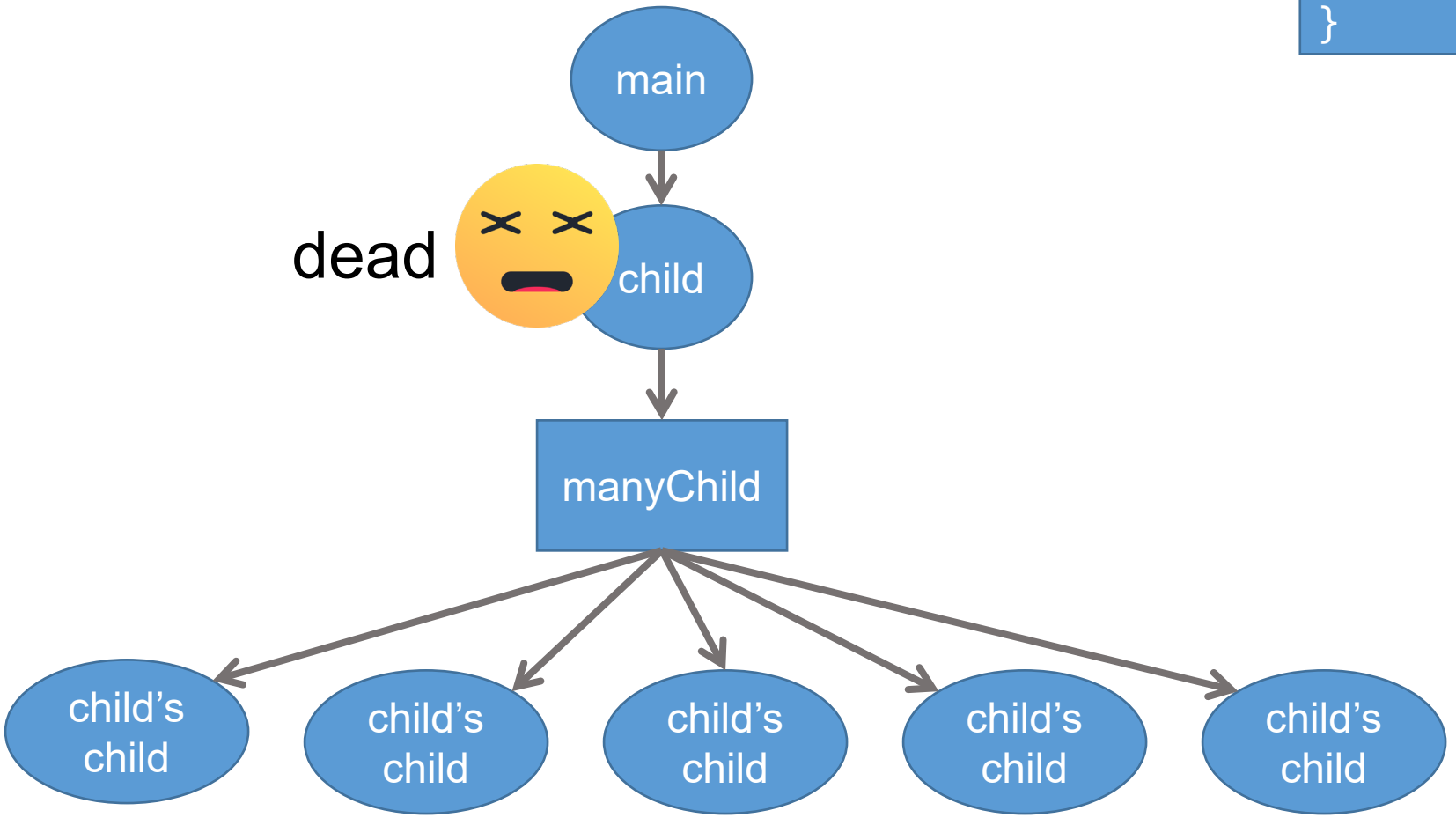
NoZombie概念圖

```
/*pid == 1*/
init {
  while(1)
    wait();
}
```

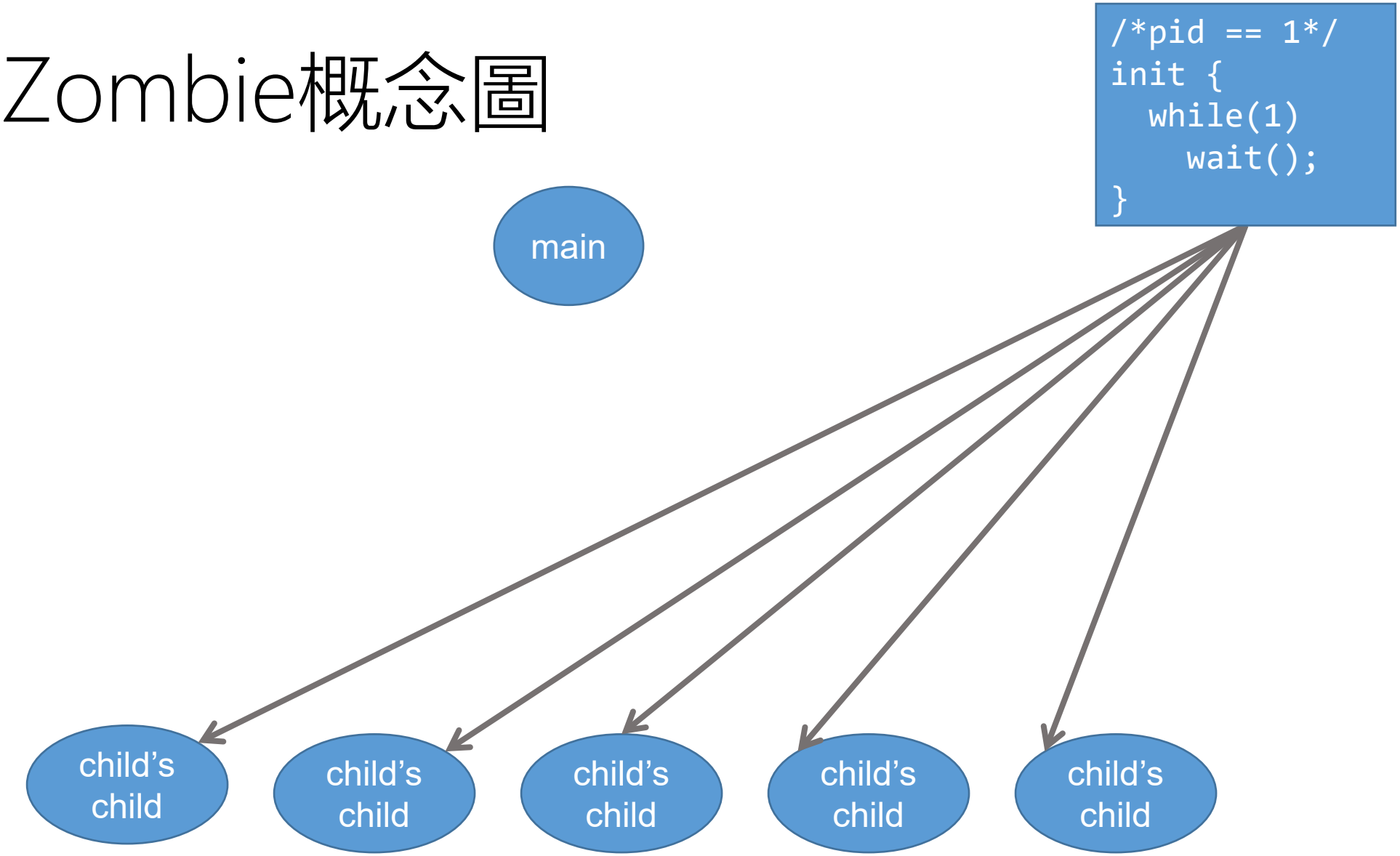


NoZombie概念圖

```
/*pid == 1*/
init {
  while(1)
    wait();
}
```



NoZombie概念圖



小結

- fork()：用以產生新的process，新的、舊的都來自於同一個執行檔
- wait()：通常用於parent等child完成
- Zombie process：child結束後，若parent沒有執行wait，會造成zombie，zombie使用kill殺不掉
- execve：載入新的執行檔到process的記憶體空間，通常會和vfork()一起使用

作業一

- 請寫底下程式，驗證執行結束後總共會有多少個process

```
1. #include <stdio.h>
2. int main() {
3.     fork();
4.     fork();
5.     fork();
6.     fork();
7. }
```

作業二

- 修改myShell，改用execle實作，要能夠用PATH搜尋執行檔