

Linguagem C

Diagnóstico e correcção de problemas

José Pedro Oliveira
(jpo@di.uminho.pt)

Grupo de Sistemas Distribuídos
Departamento de Informática
Escola de Engenharia
Universidade do Minho

Sistemas Operativos I
2006-2007



José Pedro Oliveira

Linguagem C

Introdução

Introdução

Técnicas e ferramentas

- Arquitectura física
- Linguagem de programação
- Análise estática de programas C
- Compilador de C
- Bibliotecas de apoio a debugging
- Debuggers genéricos
- Debuggers especializados



José Pedro Oliveira

Linguagem C

Conteúdo

1 Introdução

- Arquitectura física
- Linguagem de programação C
- Análise estática de programas C
- Compilador de C
- Biblioteca Electric Fence
- Valgrind



José Pedro Oliveira

Linguagem C

Introdução

Arquitectura física

Arquitectura física

Informação a ter em conta

- Tamanho da palavra do processador
- Endereçamento de memória
 - Processador com unidade de gestão de memória
 - Alinhamento
- *byte-order* do processador
 - little-endian vs big-endian
- `sizeof(int) != sizeof(void *)`



José Pedro Oliveira

Linguagem C

Linguagem de programação C

Algumas funcionalidades e propriedades a explorar

- Utilizar `assert.h`
- Substituir
 - `gets` por `fgets`
 - `strcpy` por `strncpy`
 - `strcat` por `strncat`
 - `sprintf` por `snprintf`
 - ...
- Substituir
 - `if (p == 0) por if (0 == p)`



Compilador de C - gcc

Algumas opções úteis

- E - Executa apenas o passo de pré-processamento
- S - Gera o ficheiro assembly (.s)
- g - Gera informação de debugging
- Wall - Activa a grande maioria dos avisos
- Wextra - Activa ainda mais avisos
- Werror - Os avisos passam a ser considerados erros
- On - Nível de optimização (por omissão: -O0)
- Wp,-D_FORTIFY_SOURCE=n - detecção de buffer overflows



Análise estática de programas C - splint

Utilização

```
$ splint +flag1 -flag2 ficheiro.c
```

Ficheiro de configuração: `.splintrc`

```
### Mode selection flags
#      weak, standard (default), checks, strict

+checks

### Display Flags

#+showscan
+showsummary
+stats
```



Compilador de C - gcc

Exemplos

```
gcc -E ...
gcc -S ...
gcc -Wall -Wextra ...
gcc -Wall -Wextra -std=c99 ...
gcc -Wall -Wextra -std=c99 -O0 -g ...
gcc -O2 -D_FORTIFY_SOURCE=2 ...
gcc -Wall -Wextra -Werror -O2 -Wp,-D_FORTIFY_SOURCE=2 ...
gcc -Wall -Wextra -g -lefence ...
gcc -Wall -Wextra -g -fmudflap -lmudflap ...
```



Fortify Source

FORTIFY_SOURCE

FORTIFY_SOURCE é uma característica adquirida pelo gcc e pela glibc que permite detectar e prevenir um subconjunto de buffers overflows.

Mecânica

Há diversas situações em que o compilador consegue saber qual a dimensão de um buffer (alocado estaticamente ou alocado dinamicamente via malloc). Com este conhecimento, diversas funções que sobre ele irão operar podem garantir a não existência de buffer overflows.



Fortify Source: exemplo 1

```
$ gcc -O2 -Wp,-D.FORTIFY_SOURCE=2 exemplo1.c
```

```
exemplo1.c: In function 'main':
exemplo1.c:7: warning: call to __builtin___strcpy_chk will \
always overflow destination buffer
```

```
$ ./a.out
```

```
*** buffer overflow detected ***: ./a.out terminated
===== Backtrace: =====
/lib/libc.so.6(._chk_fail+0x41)[0xa6ec45]
/lib/libc.so.6(._strcpy_chk+0x3f)[0xa6e2d7]
./a.out[0x80483bc]
/lib/libc.so.6(._libc_start_main+0xdf)[0x9a5d5f]
./a.out[0x804831d]
===== Memory map: =====
00973000-0098d000 r-xp 00000000 03:09 972530 /lib/ld-2.3.5.so
0098d000-0098e000 r-xp 00019000 03:09 972530 /lib/ld-2.3.5.so
...
```



Fortify Source: exemplo 1

exemplo1.c - detecção: durante a compilação e a execução

```
1 #include <string.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     char str[4];
6
7     strcpy(str, "1234");
8
9     return 0;
10 }
```



Fortify Source: exemplo 2

exemplo2.c - detecção: durante a execução

```
1 #include <string.h>
2
3 int main(int __attribute__((unused)) argc, char *argv[])
4 {
5     char str[4];
6
7     strcpy(str, argv[1]);
8
9     return 0;
10 }
```



Fortify Source: exemplo 2

```
$ gcc -O2 -Wp,-D_FORTIFY_SOURCE=2 exemplo2.c
$ ./a.out ok
$ ./a.out overflow
```

```
*** buffer overflow detected ***: ./a.out terminated
===== Backtrace: =====
/lib/libc.so.6(._chk_fail+0x41)[0 xa6ec45]
/lib/libc.so.6(._strncpy_chk+0x3f)[0 xa6e2d7]
./a.out[0x80483bd]
/lib/libc.so.6(._libc_start_main+0xdf)[0 xa5d5f]
./a.out[0x80483fd]
===== Memory map: =====
00973000-0098d000 r-xp 00000000 03:09 972530 /lib/ld-2.3.5.so
0098d000-0098e000 r-xp 00019000 03:09 972530 /lib/ld-2.3.5.so
...
```



Biblioteca Electric Fence

Biblioteca Electric Fence

Permite detectar dois erros comuns associados à alocação dinâmica de memória:

- ultrapassar os limites do bloco de memória alocado
- aceder a memória já libertada com free()

Mecânica

Esta biblioteca utiliza o hardware de gestão de memória virtual do computador para colocar uma página de memória inacessível imediatamente depois (ou antes) de cada bloco de memória alocado. Quando o software aceder em modo de leitura ou de escrita a uma das páginas inacessíveis, o hardware irá gerar um *segmentation fault*.



Fortify Source: referências

Referências

- Limiting buffer overflows with ExecShield

[http:](http://www.redhat.com/magazine/009jul05/features/execshield/)

[//www.redhat.com/magazine/009jul05/features/execshield/](http://www.redhat.com/magazine/009jul05/features/execshield/)

- Object size checking to prevent (some) buffer overflows

<http://gcc.gnu.org/ml/gcc-patches/2004-09/msg02055.html>



Biblioteca Electric Fence

Utilização

- Linkar o programa com a biblioteca **efence**
- Executar o programa modificando o comportamento da biblioteca através das variáveis de ambiente:
 - EF_ALIGNMENT
 - EF_PROTECT_BELOW
 - EF_PROTECT_FREE
 - EF_ALLOW_MALLOCO
 - EF_FILL

Permitir a geração de ficheiros core

```
$ ulimit -c unlimited
```



Biblioteca Electric Fence: exemplo

exemplo.c

```

1 #include <stdlib.h>
2 #include <string.h>
3
4 int main(void)
5 {
6     char *str = (char *) malloc( 5 );
7
8     strcpy(str, "12345");
9     *(str - 1) = '\0';
10    free(str);
11    *str = '\0';
12
13    return 0;
14 }

```



Biblioteca Electric Fence: exemplo

```
$ ./exemplo
```

```

Electric Fence 2.2.0 Copyright (C) 1987-1999 Bruce Perens <bruce@perens.com>
Segmentation fault (core dumped)

```

```
$ gdb exemplo core.3542
```

```

GNU gdb Red Hat Linux (6.3.0.0-1.134.fc5rh)
...
Reading symbols from /lib/ld-linux.so.2...done.
Loaded symbols for /lib/ld-linux.so.2
#0 0x0804849a in main () at efence.c:11
11     *str = '\0';
(gdb)

```



Biblioteca Electric Fence: exemplo

Compilar o programa

```
gcc -Wall -Wextra -O0 -g -lefence -o exemplo exemplo.c
```

Executar o programa (gerar core dumps)

- ❶ ./exemplo
- ❷ EF_ALIGNMENT=1 ./exemplo
- ❸ EF_PROTECT_BELOW=1 ./exemplo

Utilizar o debugger para localizar a fonte do problema

```
gdb exemplo core.pid
```



Valgrind

Valgrind 3.2

Valgrind é um sistema flexível para realizar o *debugging* e *profiling* de executáveis X86/Linux, AMD64/Linux, PPC32/Linux e PPC64/Linux. O sistema consiste num núcleo, que fornece um processador sintético, e num conjunto de ferramentas que permitem realizar tarefas específicas de debugging ou profiling. Uma das principais ferramentas é a **memcheck** que permite detectar problemas associados à gestão de memória de programas.

Algumas ferramentas

cachegrind - simulador de cache

memcheck - verificador de memória (ferramenta por omissão)



Opções de linha de comando

- ficheiro **.valgrindrc** no directório de trabalho
- ficheiro **.valgrindrc** na *homedir* do utilizador
- variável de ambiente **VALGRIND_OPTS**

Exemplo de algumas opções de linha de comando

- v - imprime informação adicional (verbose)
- q - modo silencioso; apenas imprime mensagens de erro (quiet)
- tool=callgrind - seleccionar ferramenta callgrind
- leak-check=yes - detectar perdas de memória (valor por omissão: summary)



Compilar o programa

(desactivando optimizações e activando informação de debugging)

```
gcc -Wall -Wextra -O0 -g -o exemplo exemplo.c
```

Executar o programa

- valgrind exemplo
- valgrind -q exemplo
- valgrind --tool=memcheck exemplo
- valgrind --tool=memcheck -v exemplo
- valgrind --tool=memcheck --leak-checks=no exemplo
- valgrind --tool=memcheck --leak-checks=yes exemplo



exemplo.c

```
1 #include <stdlib.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     int *p = malloc(10 * sizeof(int));
6
7     p[10] = 0;
8     *(p - 1) = 0;
9
10    return 0;
11 }
```



\$ valgrind --tool=memcheck exemplo

```
...
--32764== Invalid write of size 4
--32764==    at 0x80483AE: main (exemplo.c:7)
--32764==    Address 0x1B92F050 is 0 bytes after a block of size 40 alloc'd
--32764==    at 0x1B909222: malloc (vg_replace_malloc.c:130)
--32764==    by 0x80483A1: main (exemplo.c:5)
--32764==
--32764== Invalid write of size 4
--32764==    at 0x80483BA: main (exemplo.c:8)
--32764==    Address 0x1B92F024 is 4 bytes before a block of size 40 alloc'd
--32764==    at 0x1B909222: malloc (vg_replace_malloc.c:130)
--32764==    by 0x80483A1: main (exemplo.c:5)
--32764==
--32764== ERROR SUMMARY: 2 errors from 2 contexts (suppressed: 13 from 1)
--32764== malloc/free: in use at exit: 40 bytes in 1 blocks.
--32764== malloc/free: 1 allocs, 0 frees, 40 bytes allocated.
--32764== For counts of detected errors, rerun with: -v
--32764== searching for pointers to 1 not-freed blocks.
--32764== checked 49152 bytes.
--32764==
--32764== LEAK SUMMARY:
--32764==    definitely lost: 40 bytes in 1 blocks.
--32764==    possibly lost: 0 bytes in 0 blocks.
--32764==    still reachable: 0 bytes in 0 blocks.
--32764==    suppressed: 0 bytes in 0 blocks.
...
```



Valgrind: referências

Referências

- **Valgrind homepage**
<http://valgrind.org/>
- **The Valgrind Quick Start Guide**
<http://valgrind.org/docs/manual/quick-start.html>
- **Valgrind User Manual**
<http://valgrind.org/docs/manual/manual.html>



Overflow de buffers estáticos

Experimentar

- Utilizar o splint
- Activar avisos do gcc
- Compilar com a opção `_FORTIFY_SOURCE`
- Corrigir o programa



Conteúdo

- 2 Overflows
 - Alocação estática de memória
 - Alocação dinâmica de memória
- 3 Outros problemas



Exemplo 1 - overflow de um buffer estático

estatico_1.c

```
1 #include <string.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     char str[4];
6
7     strcpy(str, "1234");
8
9     return 0;
10 }
```



Exemplo 2 - overflow de um buffer estático

estatico_2.c

```
1 #include <string.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     char str[4] = "N:";
6
7     strcat(str, "01");
8
9     return 0;
10 }
```



Exemplo 3 - overflow de um buffer estático

estatico_3.c

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <string.h>
3
4 int main(void)
5 {
6     char str[4] = "N:";
7
8     sprintf(str, "%s:%d\n", str, 1);
9
10    // printf("String = <%s>\n", str);
11
12    return 0;
13 }
```



Exemplo 4 - overflow de um buffer estático

estatico_4.c

```
1 #include <stdlib.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     int i;
6     int a[10];
7
8     for (i=0; i<=10; i++) {
9         a[i] = 0;
10    }
11
12    return 0;
13 }
```



Overflow de buffers alocados dinamicamente

Experimentar

- Utilizar o splint
- Activar avisos do gcc
- Compilar com a opção `_FORTIFY_SOURCE`
- Utilizar a biblioteca Electric Fence
- Correr o programa com o Valgrind
- Corrigir o programa



Exemplo 1 - overflow de um buffer alocado dinamicamente

dinamico_1.c

```

1 #include <stdlib.h>
2 #include <string.h>
3
4 int main(void)
5 {
6     char *str = (char *) malloc( 4 );
7
8     strcpy(str, "1234");
9
10    free(str);
11
12    return 0;
13 }

```



Exemplo 3 - overwrite de buffers

dinamico_3.c

```

1 #include <stdlib.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     int i;
6     int *p1 = malloc(10 * sizeof(int));
7     int *p2 = malloc(10 * sizeof(int));
8
9     for (i=0; i<10; i++) { p2[i] = 2; }
10    for (i=0; i<15; i++) { p1[i] = 1; }
11
12    return 0;
13 }

```



Exemplo 2 - overflow de um buffer alocado dinamicamente

dinamico_2.c

```

1 #include <stdlib.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     int i, *p = malloc(10 * sizeof(int));
6
7     for (i=0; i<=10; i++) {
8         p[i] = i;
9     }
10
11    free(p);
12
13    return 0;

```



Conteúdo

- 2 Overflows
 - Alocação estática de memória
 - Alocação dinâmica de memória

- 3 Outros problemas



Experimentar

- Utilizar o splint
- Activar avisos do gcc
- Compilar com a opção `_FORTIFY_SOURCE`
- Utilizar a biblioteca Electric Fence
- Correr o programa com o Valgrind
- Corrigir o programa



memoria_2.c

```

1  #include <stdlib.h>
2
3  static void f(void) {
4      int *p1 = NULL;
5
6      p1 = (int *) malloc(sizeof(int));
7      free(p1);
8      *p1 = 0;
9  }
10
11 int main(void) {
12     f();
13     return 0;
14 }
```



memoria_1.c

```

1  #include <stdlib.h>
2
3  static void f(void) {
4      int *p1 = NULL;
5
6      p1 = (int *) malloc(sizeof(int));
7      *p1 = 0;
8  }
9
10 int main(void) {
11     f();
12     return 0;
13 }
```



memoria_3.c

```

1  #include <stdlib.h>
2
3  static void f(void) {
4      int *p1 = NULL;
5
6      p1 = (int *) malloc(sizeof(int));
7      *p1 = 0;
8      free(p1);
9      free(p1);
10 }
11
12 int main(void) {
13     f();
14     return 0;
15 }
```



Exemplo 4 - problema associado à alocação de memória

memoria_4.c

```

1  #include <stdlib.h>
2
3  static void f(void) {
4      int *p1 = NULL, *p2;
5
6      p1 = (int *) malloc(sizeof(int));
7      *p2 = 0;
8      free(p1);
9  }
10
11 int main(void) {
12     f();
13     return 0;
14 }

```



Exemplo 5 - endereço de memória inválido

memoria_5.c

```

1  #include <stdlib.h>
2
3  int * f(int i) {
4      int p[10];
5      p[i] = 1;
6      return &p[i];
7  }
8
9  int main(void) {
10     int *pi = f(4);
11     int i = *pi;
12     return 0;
13 }

```



Exemplo 6 - endereço de memória inválido

memoria_6.c

```

1  #include <stdlib.h>
2
3  int * f(int i) {
4      int *p = (int *) malloc(10 * sizeof(int));
5      p[i] = 1;
6      free(p);
7      return &p[i];
8  }
9
10 int main(void) {
11     int *pi = f(4);
12     int i = *pi;
13     return 0;
14 }

```

