

Kernel Pwn Cheat Sheet

- [Kernel version](#)
- [Kernel config](#)
- [Process management](#)
 - [task_struct](#)
 - [current](#)
- [Syscall](#)
- [Memory allocator](#)
 - [kmem_cache](#)
 - [kmem_cache_create](#)
 - [kmalloc](#)
 - [kfree](#)
- [Memory layout](#)
- [Module](#)
- [Paging](#)
- [Usercopy](#)
- [Symbol](#)
- [BPF](#)
- [Snippet](#)
- [Structures](#)
 - [ldt_struct](#)
 - [shm_file_data](#)
 - [seq_operations](#)
 - [msg_msg, msg_msgseg](#)
 - [subprocess_info](#)
 - [timerfd_ctx](#)
 - [pipe_buffer](#)
 - [tty_struct](#)
 - [setxattr](#)
 - [sk_buff](#)
- [Variables](#)
 - [modprobe_path](#)
 - [core_pattern](#)
 - [poweroff_cmd](#)
 - [n_tty_ops](#)

Kernel version

```
commit 09688c0166e76ce2fb85e86b9d99be8b0084cdf9 (HEAD -> master, tag: v5.17-rc8,
origin/master, origin/HEAD)
Author: Linus Torvalds <torvalds@linux-foundation.org>
Date: Sun Mar 13 13:23:37 2022 -0700
```

Linux 5.17-rc8

Kernel config

--	--

config	path
CONFIG_KALLSYMS	/proc/sys/kernel/kptr_restrict
CONFIG_USERFAULTFD	/proc/sys/vm/unprivileged_userfaultfd
CONFIG_STATIC_USERMODEHELPER	
CONFIG_SLUB	
CONFIG_SLAB	
CONFIG_SLAB_FREELIST_RANDOM	
CONFIG_SLAB_FREELIST_HARDENED	
CONFIG_HAVE_STACKPROTECTOR	
CONFIG_RANDOMIZE_BASE	
CONFIG_HARDENED_USERCOPY	
CONFIG_SMP	
CONFIG_BPF	/proc/sys/kernel/unprivileged_bpf_disabled
CONFIG_FG_KASLR	

Process management

task_struct

- [task_struct](#)
 - [thread info](#)
 - syscall_work
 - [cred](#)
 - tasks
 - [init_task](#)
 - [init_cred](#)
 - comm
 - prctl(PR_SET_NAME, name);
 - [thread_struct](#)
- [start kernel](#)
 - [cred init](#)
 - [fork init](#)
 - [task_struct whitelist](#)
 - [arch thread struct whitelist](#)
 - [fpu thread struct whitelist](#)

current

- [current](#)
 - [get current](#)

- [current_task](#)
 - [DECLARE_PER_CPU](#)
 - [DECLARE_PER_CPU_SECTION](#)
 - [__PCPU_ATTRS](#)
 - *case CONFIG_SMP*
 - [PER_CPU_BASE_SECTION](#)
 - [this_cpu_read_stable](#)
 - [__pcpu_size_call_return](#)
 - [this_cpu_read_stable_8](#)
 - [percpu_stable_op](#)
 - *case CONFIG_SMP*
 - `movq %%gs:%P[var], %[val]` where
var = ¤t_task
- [start_kernel](#)
 - [setup_per_cpu_areas](#)
 - *case CONFIG_SMP*
 - [per_cpu_offset](#)
 - `__per_cpu_offset[cpu] = pcpu_base_addr - __per_cpu_start + pcpu_unit_offsets[cpu]`
 - [switch to new gdt](#)
 - [load_percpu_segment](#)
 - [cpu kernelmode gs_base](#)
 - [fixed_percpu_data](#)
 - [DECLARE_PER_CPU_FIRST](#)
 - [fixed_percpu_data](#)
 - [per_cpu](#)
 - *case CONFIG_SMP*
 - [per_cpu_ptr](#)
 - [SHIFT_PERCPU_PTR](#)
 - [RELOC_HIDE](#)
 - *case CONFIG_SMP*
 - `gs = &fixed_percpu_data.gs_base + __per_cpu_offset[cpu]`

Syscall

- [entry_SYSCALL_64](#)
 - [pt_regs](#)
 - `pt_regs` may be use for stack pivoting
 - [do_syscall_64](#)
 - `add_random_kstack_offset();`
 - [syscall enter from user mode](#)
 - [__syscall enter from user work](#)

- [syscall_trace_enter](#)
 - SYSCALL_WORK_SECCOMP
- [do_syscall_x64](#)
- [swapgs_restore_regs_and_return_to_usermode](#)

Memory allocator

kmem_cache

- case CONFIG_SLUB
 - [kmem_cache](#)
 - [kmem_cache_cpu](#)
 - freelist
 - [slab](#)
 - slab_cache
 - freelist
 - offset
 - random
 - useroffset
 - usersize
 - [kmem_cache_node](#)
- case CONFIG_SLAB
 - [kmem_cache](#)
 - [array_cache](#)
 - entry
 - useroffset
 - usersize
 - [kmem_cache_node](#)
 - shared

kmem_cache_create

- [kmem_cache_create](#)
 - useroffset = 0
 - usersize = 0
 - [kmem_cache_create_usercopy](#)
 - [create_cache](#)
 - case CONFIG_SLUB
 - [_kmem_cache_create](#)
 - [kmem_cache_open](#)
 - [calculate_order](#)
 - [calculate_sizes](#)
 - [__make](#)
 - [order_objects](#)
 - case CONFIG_SLAB
 - [_kmem_cache_create](#)

- [set_objfreelist_slab_cache](#)
 - [calculate_slab_order](#)
- [start_kernel](#)
 - [mm_init](#)
 - [kmem_cache_init](#)
 - `useroffset = 0`
 - `usersize = kmalloc_info[INDEX_NODE].size`
 - [create_kmalloc_cache](#)
 - [create_boot_cache](#)
 - `__kmem_cache_create`

kmalloc

- [kmalloc](#)
 - [kmalloc_index](#)
 - [__kmalloc_index](#)
 - `case CONFIG_SLUB`
 - `#define KMALLOC_MIN_SIZE 8`
 - `case CONFIG_SLAB`
 - `#define KMALLOC_MIN_SIZE 32`
 - [kmalloc_caches](#)
 - [kmalloc_type](#)
 - `#define GFP_KERNEL_ACCOUNT (GFP_KERNEL | __GFP_ACCOUNT)`
 - `GFP_KERNEL → KMALLOC_NORMAL`
 - `GFP_KERNEL_ACCOUNT → KMALLOC_CGROUP`
 - `case CONFIG_SLUB`
 - [kmem_cache_alloc_trace](#)
 - [slab_alloc](#)
 - [slab_alloc_node](#)
 - [__slab_alloc](#)
 - [__slab_alloc](#)
 - `slab = c->slab = slub_percpu_partial(c);`
 - [new_slab](#)
 - [allocate_slab](#)
 - [alloc_slab_page](#)
 - [shuffle_freelist](#)
 - [get_freepointer_safe](#)
 - [freelist_ptr](#)
 - [swab](#)
 - [__swab](#)
 - [__swab64](#)
 - [__constant_swab64](#)

- case *CONFIG_SLAB*
 - [kmem_cache_alloc_trace](#)
 - [slab_alloc](#)
 - [__do_cache_alloc](#)
 - [__cache_alloc](#)
 - [cache_alloc_refill](#)
 - [__cache_alloc_node](#)
 - [cache_grow_begin](#)
 - [kmem_getpages](#)
 - [__alloc_pages_node](#)
 - [cache_init_objs](#)
 - [shuffle_freelist](#)

kfree

- case *CONFIG_SLUB*
 - [kfree](#)
 - [virt_to_folio](#)
 - [virt_to_page](#)
 - [__pa](#)
 - [__phys_addr](#)
 - [__phys_addr_nodebug](#)
 - `x - __START_KERNEL_map +
__START_KERNEL_map - PAGE_OFFSET`
 - [PAGE_OFFSET](#)
 - case
CONFIG_DYNAMIC_MEMORY_LAYOUT
 - [PAGE_OFFSET](#)
 - `page_offset_base`
 - [pfn_to_page](#)
 - [__pfn_to_page](#)
 - [vmemmap](#)
 - [VMEMMAP_START](#)
 - `vmemmap_base`
 - [page_folio](#)
 - [_compound_head](#)
 - [pageflags](#)
 - [folio_slab](#)
 - [slab_free](#)
 - [do_slab_free](#)
 - `likely(slab == c->slab) → likely(slab == slab->slab_cache->cpu_slab->slab)`
 - [set_freepointer](#)

- `BUG_ON(object == fp);`
 - [slab free](#)
 - `put_cpu_partial(s, slab, 1);`
- *case CONFIG_SLAB*
 - [kfree](#)
 - [__cache_free](#)
 - [cache_flusharray](#)
 - [_free_one](#)
 - `WARN_ON_ONCE(ac->avail > 0 && ac->entry[ac->avail - 1] == objp)`

Memory layout

- [page tables](#)
 - `page_offset_base`
 - heap base address (by `kmalloc`) and it is mapped to `/dev/mem`
 - `secondary_startup_64` can be found at `page_offset_base + offset`
 - `vmalloc_base`
 - `vmemmap_base`
 - base address of [pages](#)

Module

- [module alloc](#)
 - *case CONFIG_RANDOMIZE_BASE*
 - [get_module_load_offset](#)
 - [MODULES_VADDR](#)
 - [__START_KERNEL_map](#)
 - *case CONFIG_RANDOMIZE_BASE*
 - [KERNEL_IMAGE_SIZE](#)

Paging

- CR3 , Page Global Directory , Page Upper Directory , Page Middle Directory , Page Table Entry are used
- each register or variable holds an encoded pointer, not a raw pointer
- the 12~51 bits of each register or variable indicates the base address of the next directory
- see [5.3.3 4-Kbyte Page Translation / AMD64 Architecture Programmer's Manual, Volume 2](#) for details
- last byte of Page Global Directory(PML4E) often be 0x67(0b01100111)

Usercopy

- [copy_from_user](#)
 - [check_copy_size](#)
 - *case CONFIG_HARDENED_USERCOPY*
 - [check_object_size](#)

- [__check_object_size](#)
 - [__check_heap_object](#)
 - *case CONFIG_HARDENED_USERCOPY*
 - *case CONFIG_SLUB*
 - [__check_heap_object](#)
 - *case CONFIG_SLAB*
 - [__check_heap_object](#)
 - *otherwise*
 - [__check_heap_object](#)
 - [__check_page_span](#)
 - *otherwise*
 - [__check_object_size](#)
- [copy_to_user](#)
 - `check_copy_size`

Symbol

- [EXPORT_SYMBOL](#)
 - [EXPORT_SYMBOL](#)
 - [EXPORT_SYMBOL](#)
 - [__cond_export_sym](#)
 - [__cond_export_sym](#)
 - [__cond_export_sym_1](#)
 - [EXPORT_SYMBOL](#)
 - [KSYMTAB_ENTRY](#)
 - [RO_DATA](#)
- [kernel symbol value](#)
 - [offset to ptr](#)

BPF

- [bpf](#)
 - [__sys_bpf](#)
 - [bpf_prog_load](#)
 - [bpf_check](#)
 - [check_cfg](#)
 - verify loop
 - [do_check_main](#)
 - [do_check_common](#)
 - [do_check](#)
 - [check_alu_op](#)
 - [update_reg_bounds](#)
 - [reg_deduce_bounds](#)
 - [reg_bound_offset](#)

- [adjust_reg_min_max_vals](#)
 - [adjust_scalar_min_max_vals](#)
- [check_mem_access](#)
 - [check_ctx_access](#)
- [check_helper_call](#)
- [bpf_prog_select_runtime](#)
 - [bpf_int_jit_compile](#)
 - [do_jit](#)
 - [bpf_jit_binary_alloc](#)
 - [bpf_jit_alloc_exec](#)
 - `return module_alloc(size);`
- [map_create](#)
 - [find_and_alloc_map](#)
- [bpf_obj_get_info_by_fd](#)
 - [bpf_map_get_info_by_fd](#)
- [bpf_reg_state](#)
- [bpf_map](#)
 - [bpf_map_ops](#)
 - [btf](#)

Snippet

- gain root privileges
 - (kernel) `commit_creds(prepare_kernel_cred(NULL));`
- break out of namespaces
 - (kernel) `switch_task_namespaces(find_task_by_vpid(1), init_nsproxy);`
 - (user) `setns(open("/proc/1/ns/mnt", O_RDONLY), 0);`
 - (user) `setns(open("/proc/1/ns/pid", O_RDONLY), 0);`
 - (user) `setns(open("/proc/1/ns/net", O_RDONLY), 0);`

Structures

| structure | size | flag (v5.14+) | memo |
|-----------------|-----------|--------------------|-------------------------|
| ldt_struct | 16 | GFP_KERNEL_ACCOUNT | |
| shm_file_data | 32 | GFP_KERNEL | |
| seq_operations | 32 | GFP_KERNEL_ACCOUNT | /proc/self/stat |
| msg_msg | 48 ~ 4096 | GFP_KERNEL_ACCOUNT | |
| msg_msgseg | 8 ~ 4096 | GFP_KERNEL_ACCOUNT | |
| subprocess_info | 96 | GFP_KERNEL | socket(22, AF_INET, 0); |
| timerfd_ctx | 216 | GFP_KERNEL | |
| | | | |

| | | | |
|-------------|---------------|--------------------|-----------|
| pipe_buffer | 640 = 40 x 16 | GFP_KERNEL_ACCOUNT | |
| tty_struct | 696 | GFP_KERNEL | /dev/ptmx |
| setxattr | 0 ~ | GFP_KERNEL | |
| sk_buff | 320 ~ | GFP_KERNEL_ACCOUNT | |

ldt_struct

- [modify_ldt](#)
 - [write_ldt](#)
 - `#define LDT_ENTRIES 8192`
 - `#define LDT_ENTRY_SIZE 8`
 - [alloc_ldt_struct](#)
 - [read_ldt](#)
 - [desc_struct](#)
 - `copy_to_user`
 - `copy_to_user` won't panic the kernel when accessing wrong address

shm_file_data

- [shmat](#)
 - [do_shmat](#)

seq_operations

- [proc_stat_init](#)
 - [stat_proc_ops](#)
- [stat_open](#)
 - [single_open_size](#)
 - [single_open](#)
- [seq_read_iter](#)
 - `m->op->start`

msg_msg, msg_msgseg

- [msg_queue](#)
 - `q_messages` → `msg_msg`
- [msgsnd](#)
 - [ksys_msgsnd](#)
 - [do_msgsnd](#)
 - [load_msg](#)
 - [alloc_msg](#)
- [msgrcv](#)
 - [ksys_msgrcv](#)
 - `msg_handler = do_msg_fill`
 - [do_msgrcv](#)
 - [find_msg](#)
 - [testmsg](#)

- `#define MSG_COPY 040000`
- [copy_msg](#)
- [do_msg_fill](#)
 - [store_msg](#)

subprocess_info

- [socket](#)
 - [__sys_socket](#)
 - [sock_create](#)
 - [__sock_create](#)
 - [__request_module](#)
 - [call_modprobe](#)
 - [call_usermodehelper_setup](#)

timerfd_ctx

- [timerfd_create](#)
- [timerfd_release](#)
 - `kfree_rcu`

pipe_buffer

- [pipe](#), [pipe2](#)
 - [do_pipe2](#)
 - [do_pipe_flags](#)
 - [create_pipe_files](#)
 - [get_pipe_inode](#)
 - [alloc_pipe_info](#)
 - `#define PIPE_DEF_BUFFERS 16`
 - [pipefifo_fops](#)
- [pipe_write](#)
 - `buf->ops = &anon_pipe_buf_ops;`
- [pipe_release](#)
 - [put_pipe_info](#)
 - [free_pipe_info](#)
 - [pipe_buf_release](#)
 - `ops->release`

tty_struct

- [unix98_pty_init](#)
 - [tty_default_fops](#)
 - [tty_fops](#)
- [ptmx_open](#)
 - [tty_init_dev](#)
 - [alloc_tty_struct](#)

- [tty_ioctl](#)
 - [tty_paranoia_check](#)
 - `#define TTY_MAGIC 0x5401`
 - [tty_pair_get_tty](#)
 - `tty->ops->ioctl`

setxattr

- [setxattr](#)
 - [path_setxattr](#)
 - [setxattr](#)
 - `vfs_setxattr` may fail, but `kvmalloc` and `kvfree` complete successfully

sk_buff

- [socketpair](#)
 - [__sys_socketpair](#)
 - [sock_create](#)
 - [__sock_create](#)
 - `case PF_UNIX`
 - [unix_family_ops](#)
 - [unix_create](#)
 - `case SOCK_DGRAM`
 - [unix_dgram_ops](#)
 - [unix_create1](#)
 - `sk->sk_allocation = GFP_KERNEL_ACCOUNT;`
- [unix_dgram_sendmsg](#)
 - [sock_alloc_send_skb](#)
 - [alloc_skb_with_frags](#)
 - [alloc_skb](#)
 - [__alloc_skb](#)
 - `struct skb_shared_info` is at the end of `data`

Variables

| variable | memo |
|----------------------------|--|
| <code>modprobe_path</code> | <code>/proc/sys/kernel/modprobe</code> |
| <code>core_pattern</code> | <code>/proc/sys/kernel/core_pattern</code> |
| <code>poweroff_cmd</code> | |
| <code>n_tty_ops</code> | (read) <code>scanf</code> , (ioctl) <code>fgets</code> |

modprobe_path

- [execve](#)
 - [do_execve](#)
 - [do_execveat_common](#)
 - [bprm_execve](#)
 - [exec_binprm](#)
 - [search_binary_handler](#)
 - [__request_module](#)
 - [call_modprobe](#)
 - [call_usermodehelper_setup](#)
 - [call_usermodehelper_exec](#)

core_pattern

- [do_coredump](#)
 - [format_corename](#)
 - [call_usermodehelper_setup](#)
 - [call_usermodehelper_exec](#)

poweroff_cmd

- [orderly_poweroff](#)
 - [poweroff_work_func](#)
 - [__orderly_poweroff](#)
 - [run_cmd](#)
 - [call_usermodehelper](#)
 - [call_usermodehelper_setup](#)
 - [call_usermodehelper_exec](#)

n_tty_ops

- [tty_struct](#)
 - [tty_ldisc](#)
- [n_tty_init](#)
 - [tty_register_ldisc](#)