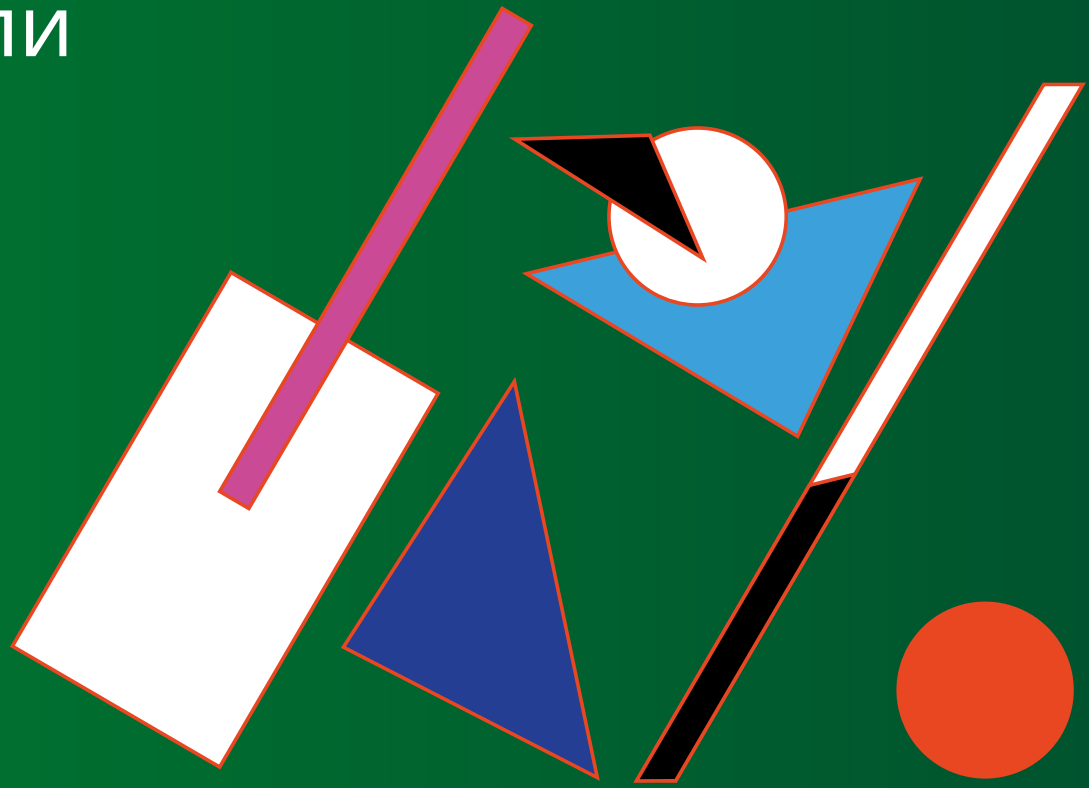
PostgresPro

PGCONF.RUS SIA 2024

Как мы искали и что мы нашли



Николай Шаплов

PostgresPro

О докладчике

Николай Шаплов

Отдел информационной безопасности

Подразделение фаззинга

PostgresPro

SDL – Security Development Lifecycle

I. Планирование

…

IV. Реализация

V. Верификация

- статический анализ;
- динамический анализ;
  - **фаззинг-тестирование.**

VI. Релиз

VII. Реагирование

PostgresPro

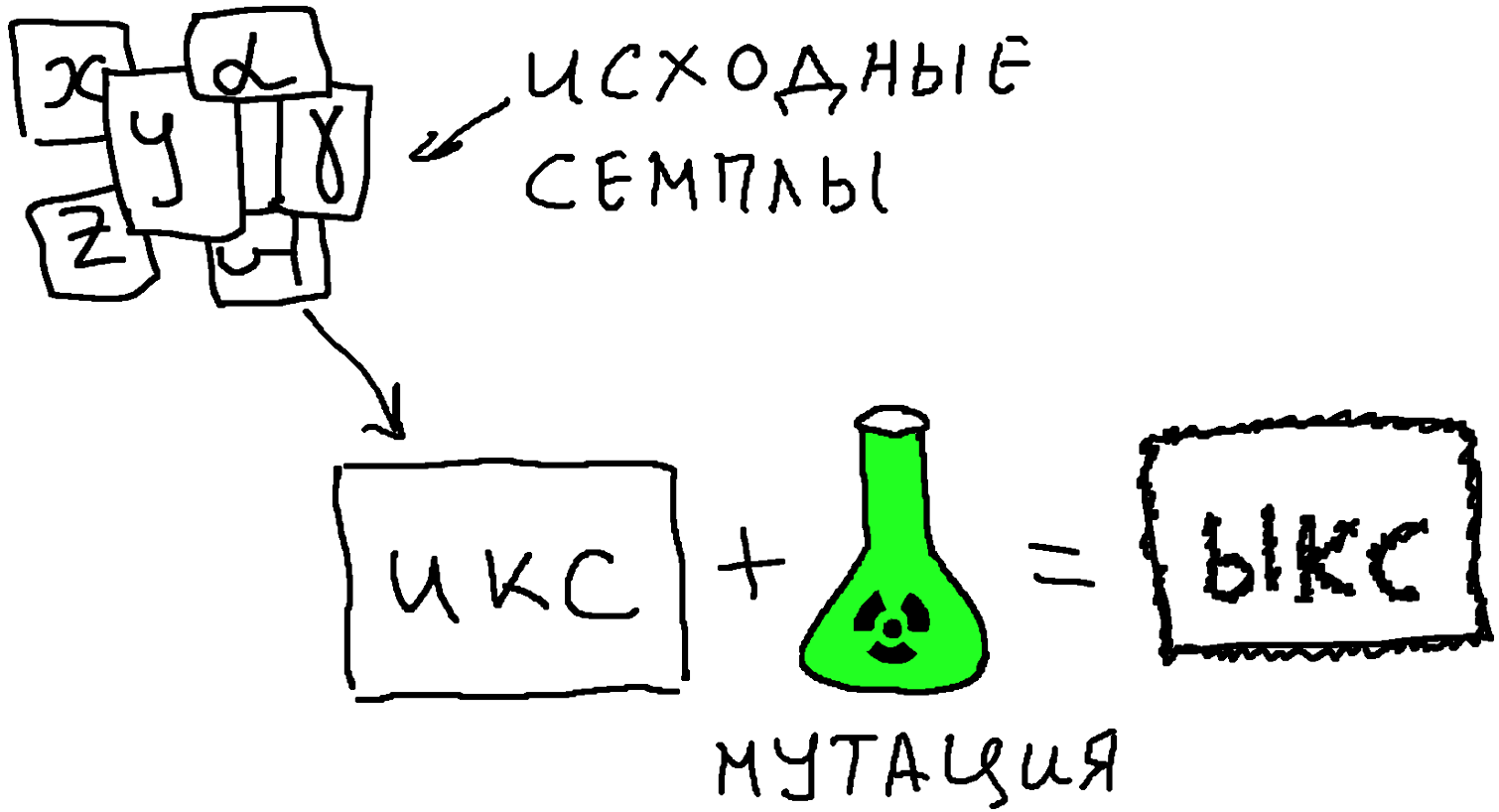
Фаззинг в двух словах

Подаем на вход системе случайные

(на самом деле вовсе не случайные)

данные и смотрим, что получится

Фаззинг: подробности по ссылке



youtube.com/watch?v=fbhuzSpyUJc

План

- **Фаззинг input-функций;**
  - Создание цели через фаззинг-модуль;
- **Фаззинг op-функций;**
  - Structure-Aware фаззинг;
- **Фаззинг сетевого соединения;**
  - Создание цели через врезку;
  - Подмена сетевых POSIX функций;
  - Система восстановления дискового контекста.

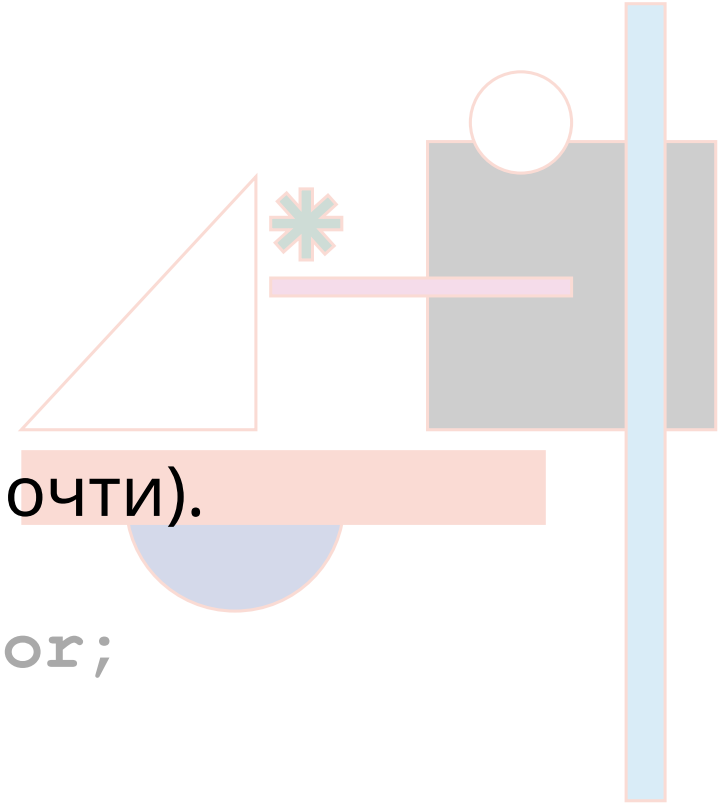
PostgresPro

Фаззинг input-функций

Input-функция

Input-функция – это pg-функция, занимающаяся преобразованием данных определенного типа из текстового представления во внутреннее.

- Простая;
- Входит в поверхность атаки;
- Стандартизованный интерфейс;
- Отчуждаемая от остального Постгреса (ну почти).



```
SELECT 'a:1A fat:2B,4C cat:5D'::tsvector;
```

Внутри вызывается `tsvectorin()`

PostgresPro

Создание цели в форме фаззинг-модуля

- Берем исследуемую функцию;
- Линкуем к ней пол-Постгреса;
- Минимально инициализируем окружение;
- Говорим фаззеру «Фас!»

PostgresPro

Создание цели в форме фаззинг-модуля

```
#include "postgres.h"
#include "utils/memutils.h"
//....
int main(int argc, char* argv[])
{
  Datum out;
  MemoryContextInit();
  while (__AFL_LOOP(4000))
  {
    char * in = slurp_file(argv[1]);
    out = DirectFunctionCall1Coll(tsvectorin,
                          InvalidOid, CStringGetDatum(in));
    //... освобождаем память
  }
}
```

PostgresPro

Создание цели в форме фаззинг-модуля

```
#include "postgres.h"
#include "utils/memutils.h"
//....
int main(int argc, char* argv[])
{
  Datum out;
  MemoryContextInit();
  while (__AFL_LOOP(4000))
  {
    char * in = slurp_file(argv[1]);
    out = DirectFunctionCall1Coll(tsvectorin,
                          InvalidOid, CStringGetDatum(in));
    //... освобождаем память
  }
}
```

PostgresPro

Создание цели в форме фаззинг-модуля

```
#include "postgres.h"
#include "utils/memutils.h"
//....
int main(int argc, char* argv[])
{
  Datum out;
  MemoryContextInit();
  while (__AFL_LOOP(4000))
  {
    char * in = slurp_file(argv[1]);
    out = DirectFunctionCall1Coll(tsvectorin,
                                  InvalidOid, CStringGetDatum(in));
    //... освобождаем память
  }
}
```

Создание цели в форме фаззинг-модуля

```
#include "postgres.h"
#include "utils/memutils.h"
//....
int main(int argc, char* argv[])
{
  Datum out;
  MemoryContextInit();
  while (__AFL_LOOP(4000))
  {
    char * in = slurp_file(argv[1]);
    out = DirectFunctionCall1Coll(tsvectorin,
                                  InvalidOid, CStringGetDatum(in));
    //... освобождаем память
  }
}
```

Создание цели в форме фаззинг-модуля

```
#include "postgres.h"
#include "utils/memutils.h"
//....
int main(int argc, char* argv[])
{
  Datum out;
  MemoryContextInit();
  while (__AFL_LOOP(4000))
  {
    char * in = slurp_file(argv[1]);
    out = DirectFunctionCall1Coll(tsvectorin,
                                  InvalidOid, CStringGetDatum(in));
    //... освобождаем память
  }
}
```

Создание цели в форме фаззинг-модуля

```
#include "postgres.h"
#include "utils/memutils.h"
//....
int main(int argc, char* argv[])
{
  Datum out;
  MemoryContextInit();
  while (__AFL_LOOP(4000))
  {
    char * in = slurp_file(argv[1]);
    out = DirectFunctionCall1Coll(tsvectorin,
                                  InvalidOid, CStringGetDatum(in));
    //... освобождаем память
  }
}
```

PostgresPro

Что нашлось: `\u00000` в `jsonb`

В PostgreSQL 14 и 15,
копирование блока памяти отрицательной длинны
при указании нулевого символа через \u в типе jsonb

```
SELECT E'\n"\\u00000"'::jsonb;
```

https://www.postgresql.org/message-id/flat/7332649.x5DLKWyVIX%40thinkpad-pgpro

Что нашлось: долгий `jsonpath`

Создание переменной типа **`jsonpath`** со специально подобранным значением занимает более минуты:

```
SELECT E'$ ? (@ like_regex\x0a"pat\x5c\x5cdbegex \x5c[^aguegex \x5c[^agu0424
ch[[[=V=]========arJ\x5c\x5cdbegex \x5c\x5cD0\x5c\x5c\x5ct\x5c\x5c\x07--1)*]dbegex \
x5c[^agu0424 ch[[[=V=]========arW\x5c\x5cdbegex \x5c\x5cD0\x5c\x5c\x5ct\x5c\x5c\x07--
1)0424 ch[[[=V=]==-\x5c\x5c\x5cU2222222bi$\xd1$a \xd1a[U2222222bi$ 1-\x5c\x5c\
x5cU2222222bi$\xd1$ u0424 ch[[[=V=]========arW\x5c\x5cdbegex \x5c\x5cD0\x5c\x5c\x5ct\
x5cg\x07--1)0424 ch[[[=V=]==-\x5c\x5c\x5cU2222222bi$\xd1$a \xd1a[U2222222bi$ 1-\x5c\
x5c\x5cU2222222bi$\xd1$ (@a 1-\x5c\x5c\x5cU22222222222bi222bi$\xd1a[$a 3\x03\xe8 1,
($b[*\x5c\x5c\x5cU22222222222bi22$Ma[$a *\x5c\x5c\x5cU2222222bi$ 1-\x5c\x5c\
x5cU2222222bi@\xd1a[U22]\x149\x5c($).i=====+? (@ like_0*1e-1\x5c\x5c\x5ct\x5c\x5c\
x07--1)*]dbegex \x5c[^agu0424 ch[[[=V=]========ar(@a 1-\x5c\x5c\
x5cU22222222222bi222bi$\xd1a[$a 3\x03\xe8 1, ($b[*\x5c\x5c\x5cUMa[$a *\x5c\x5c\
x5cU2222$22222222222bi22222bi$ 1-\x5c\x5c\x5cU2222222bi@\xd1a[U22]\x149\
x5c($).i======arJ\x5c\x5cdbegex \x5c\x5cD0\x5c\x5c\x5ct\x5c\x5c\x07--1)*]dbegex \
x5c[^agu0424 ch[[[=V=]========arW\x5c\x5cdbegex \x5c\x5cD0^^^^^^^)*^.b\xff\
xff*|.^^^^($)\xef\xffnePn" flag "is"\x5c\x5cct\x5c\x5c\x07--1)*]" flag
"i")'::jsonpath;
```

В работе у группы производительности

PostgresPro Что нашлось: `jsonpath`, который сам починился

В продуктах PostgresPro версий 13 и 14 при фаззинге jsonpath выдаются Assert’ы из-за не инициализированного кэша.
В 11, 15 и 16 — нет.

```
TRAP: FailedAssertion("cacheId >= 0 && cacheId < SysCacheSize &&
PointerIsValid(SysCache[cacheId])
```

Инициализировать кеш — хорошая примета.
В 13м могла появиться новая функциональность.
Но почему в 15м все снова работает?

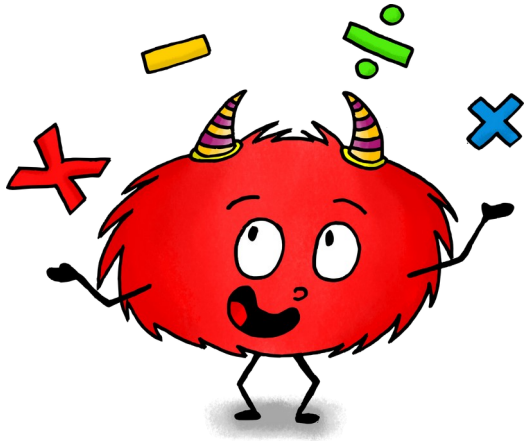
PostgresPro Что нашлось: `jsonpath`, который сам починился

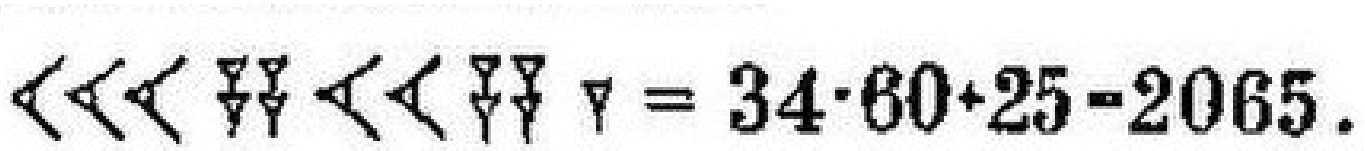
Выяснилось: в 13 и 14 версии у нас реализована расширенная поддержка icu, которая чувствительна к инициализации кеша (и это нормально).

`jsonpath_in` в отдельных случаях ее трогал

Начиная с 15 аналогичная функциональность появилась в ванильном PostgreSQL, но к неинициализированному кешу она не чувствительна

PostgresPro





Фаззинг операций

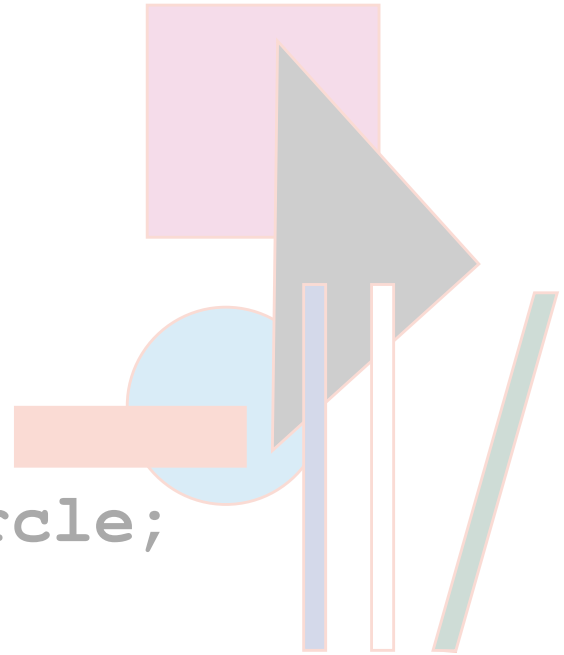
Фаззинг операций

Op-функция – это pg-функция, реализующая определенную операцию, совершаемую над операндами заданного типа.

- Простая;
- Входит в поверхность атаки;
- Стандартизованный интерфейс;
- Отчуждаемая от остального Постгреса.

```
SELECT '<(0,0),1>'::circle <->
                          '<(5,0),1>'::circle;
```

Внутри вызывается `circle_distance()`



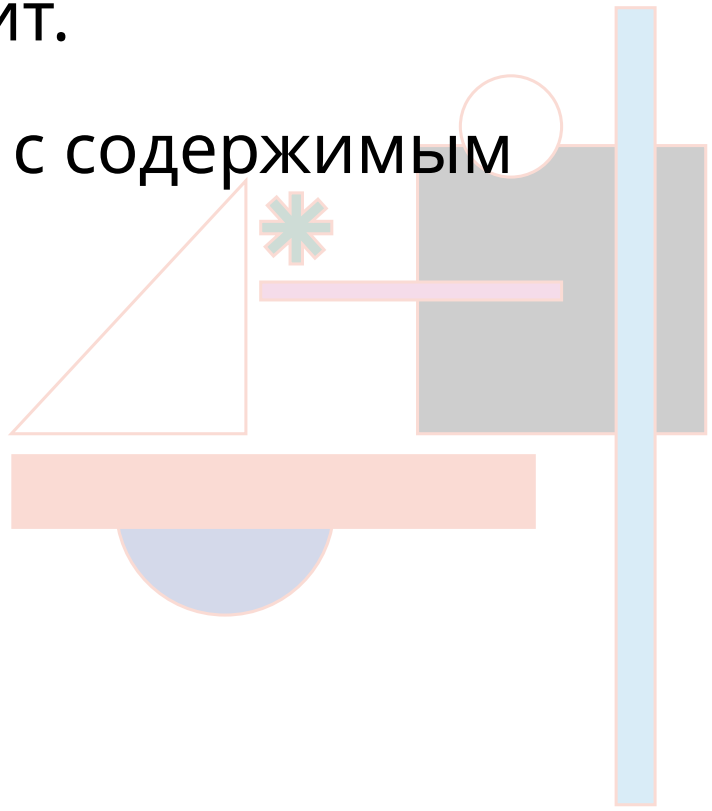
Фаззинг операций

Главная проблема – фаззить операцию, а не операнды.

```
SELECT '<(0,Z),1>'::circle <-> '<(5,0),1>'::circle;
```

Ломает input-функцию, а до op- дело не доходит.

Нужны синтаксически корректные аргументы, с содержимым находящимся под управлением фаззера.



Это работа для

Structure-Aware Fuzzing’a!

SAF — это когда есть какие-то требования к синтаксису или структуре входных данных и фаззер выдает данные согласно этим требованиям. Сам, или через посредника использующие данные фаззера для затравки

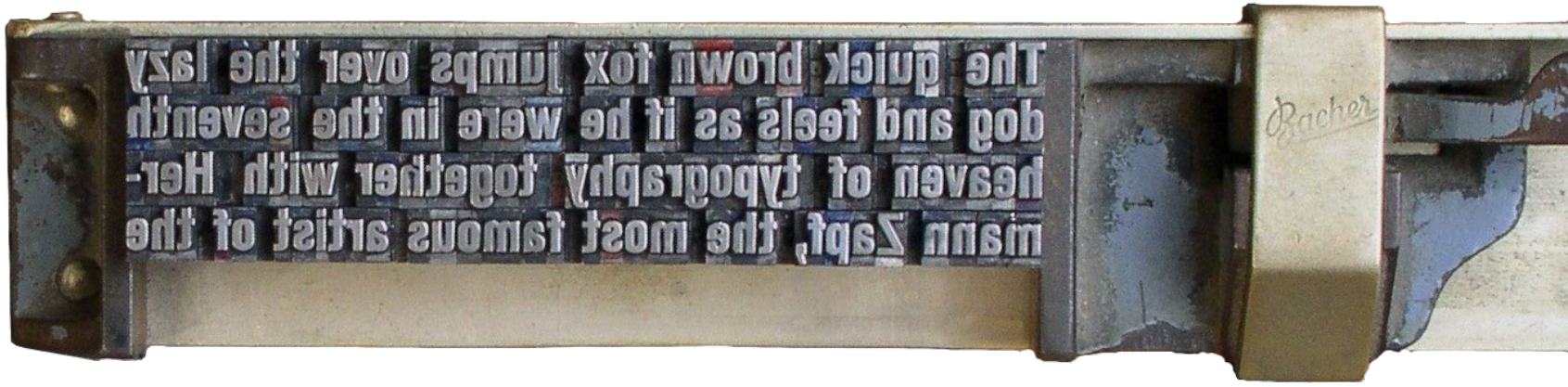
PostgresPro

Structure Aware Fuzzing (SAF)

Библиотека **LibBlobStamper**

Фреймворк для создания штампов

https://github.com/postgrespro/libblobstamper

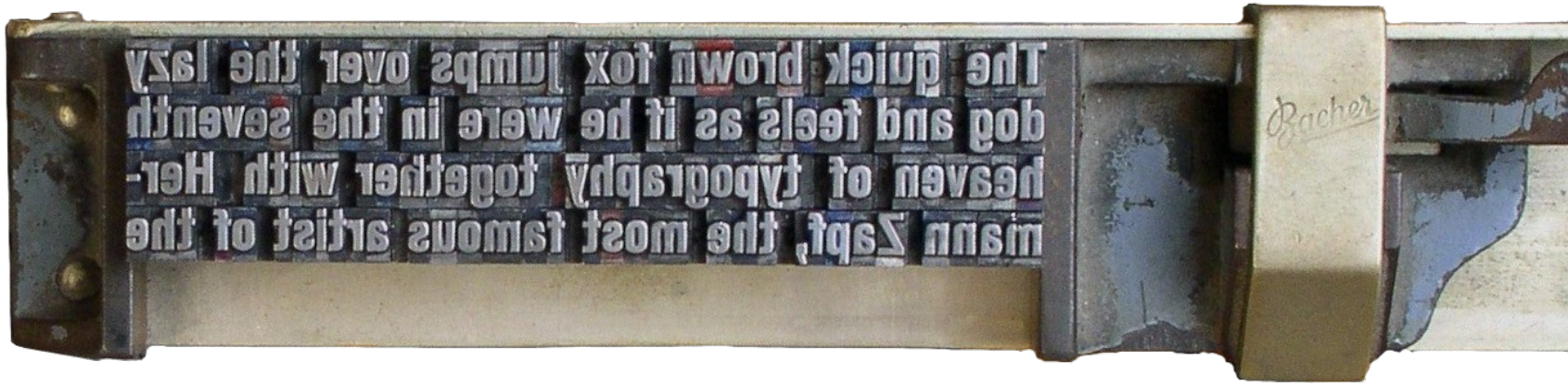


PostgresPro

Structure Aware Fuzzing (SAF)

Штамп потребляет «фаззинину» (**Pulp Data**) и на ее основании создает структурированные данные.

Фаззер, как раньше, управляет входными данными не понимая их смысла. Но исследуемой функции подается синтаксически корректный ввод.



PostgresPro

Что нашлось: `poly_contain`, из 0 в бесконечность

В PostgreSQL начиная с 14, попытка вычислить вхождение одного полигона в другой (@>), если оба полигона содержат узлы в нуле или бесконечности, приводит к вычислениям сложности o(n!)

```
select '((-inf, 0), (0, inf), (-inf, 0), (0, inf), (0, 0), (0, 0), (0, 0),
(0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0,
0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0),
(0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0,
0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0))'::polygon @> '((0, 0), (0, 0),
(0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0,
0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0),
(0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0,
0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0), (0, 0),
(-inf, 0))'::polygon;
```

Запрос выполняется больше суток

PostgresPro

Что нашлось: `poly_contain`, из 0 в бесконечность

Баг зарепорчен в upstream:

BUG #18214

Похожая проблема в PostgreSQL 11:

BUG #17962

PostgresPro

Фаззинг сетевой подсистемы libpq

Фаззинг libpq

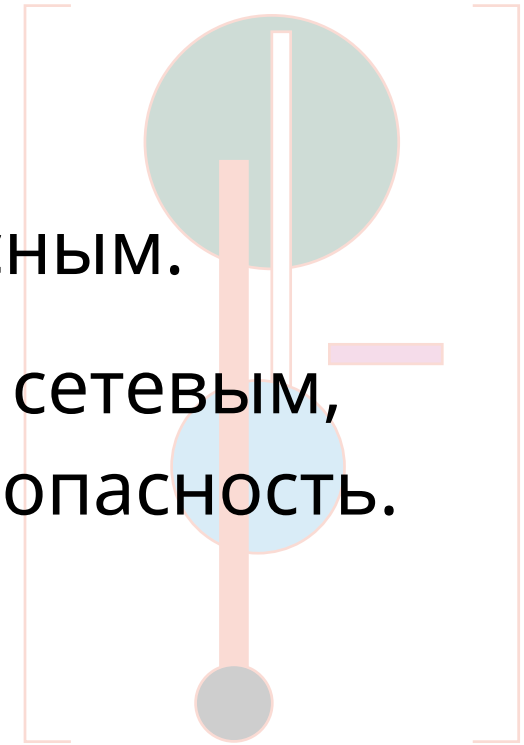
Сетевое соединение входит в поверхность атаки by default.

В реальности:

- Завернуто в SSL
- Спрятано за фильтрами и firewall’ами

Но все равно обязано быть максимально безопасным.

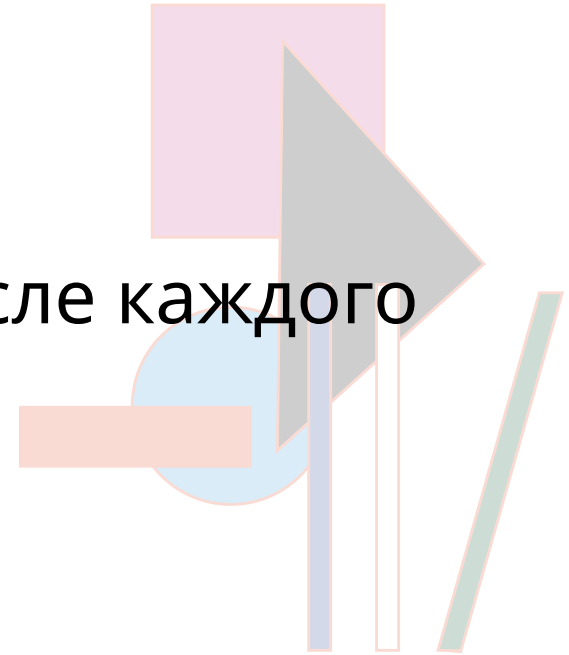
В данном исследовании мы работаем с «чистым» сетевым, без вышележащих уровней обеспечивающих безопасность.



Фаззинг libpq

Что нужно для фаззинга сетевого соединения:

- Подменить сетевой обмен на выхлоп фаззера
- Запустить PostgreSQL с сетевой подсистемой в один процесс
  - Избавиться от backend’ов
  - Не запускать worker’ы
- Восстанавливать контекст (содержимое БД) после каждого цикла фаззинга



PostgresPro

Фаззинг сетевой подсистемы через подмену POSIX-вызовов

Фаззинг сетевого соединения

Суть проблемы:

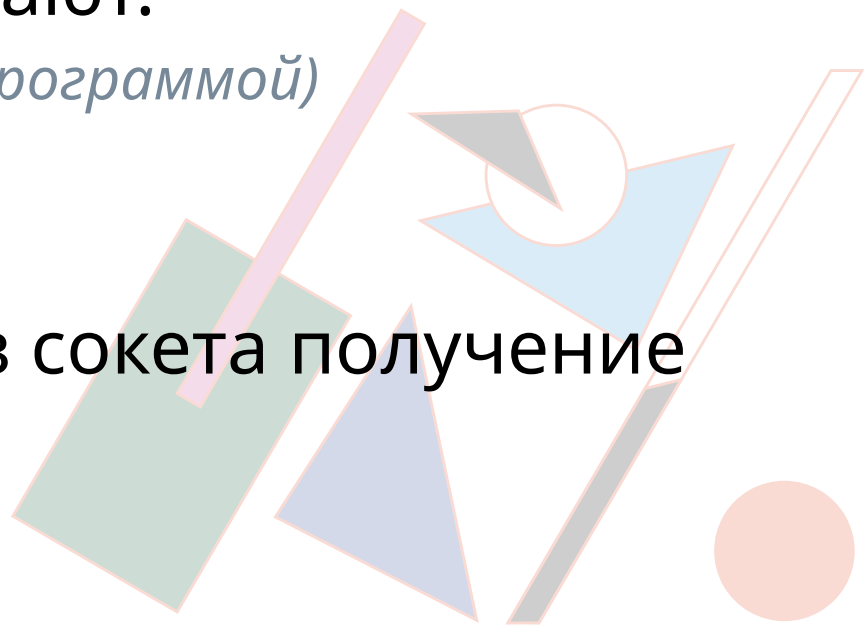
Фаззер не умеет направлять данные в сокет, только в файл.

Сопутствующие сложности:

Посредники вроде netcat нас не устраивают.
(Фаззеру нужна тесная интеграция с исполняемой программой)

Решение:

Хардкодим вместо получения данных из сокета получение данных из фаззера через файл.



Фаззинг сетевого соединения

Сопутствующие сложности:

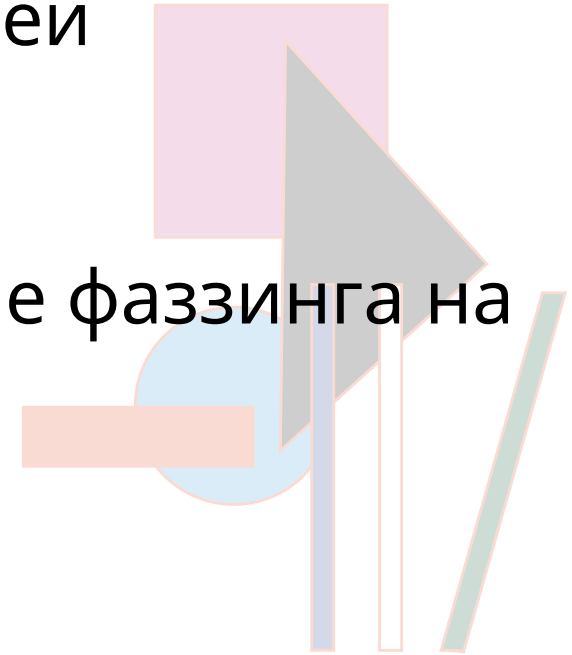
Придется отрывать всю установку соединения.

Миссия не выполнима:

- 5 версий PostgreSQL => 5 разных сложных патчей
- Новый год => новая версия => новый патч

Мы не хотим тратить всё время на портирование фаззинга на новые версии.

Можно как-то менее инвазивно?



Фаззинг сетевого соединения

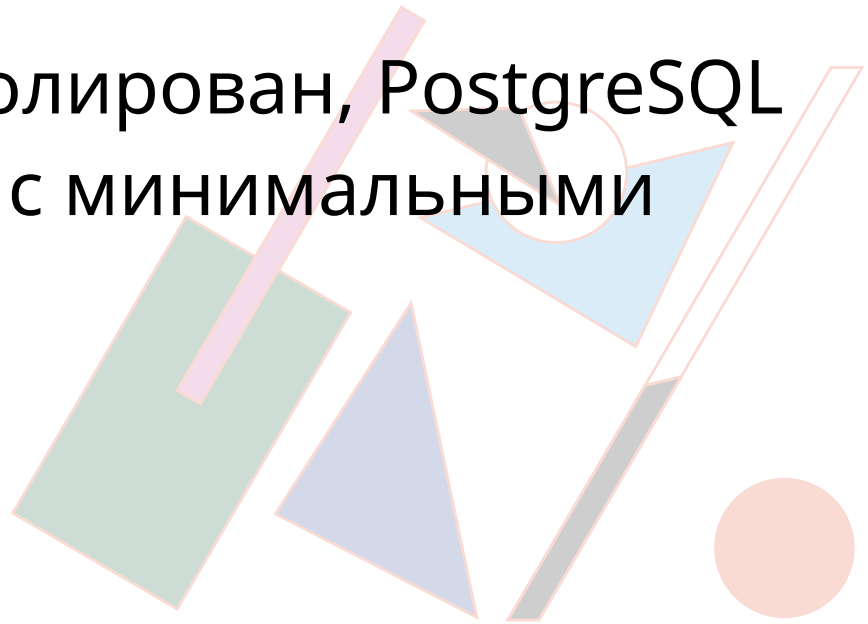
А может проще создать поддельную сетевую подсистему?

Пожалуй проще. Для PostgreSQL она всего лишь набор POSIX-вызовов.

Плюсы:

Код подставной сетевой подсистемы изолирован, PostgreSQL продолжает работать с ней как обычно, с минимальными правками кода.

(Сказал я в 2023м году и тут же select() заменили на epoll_wait())



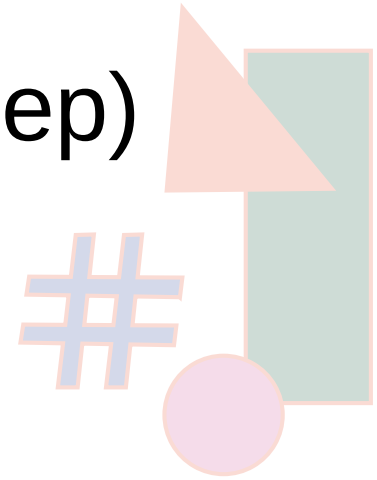
PostgresPro

Пример подмены POSIX-вызова

общая схема на примере `getchar()`

PostgresPro

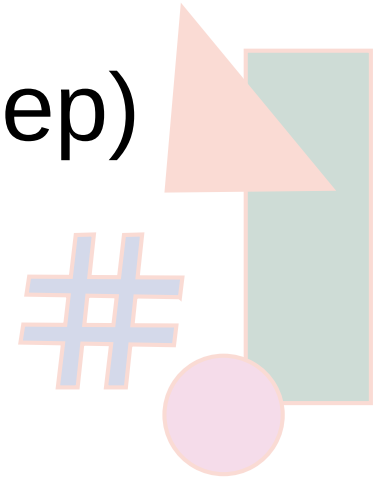
Подмена системного вызова (пример)



```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

PostgresPro

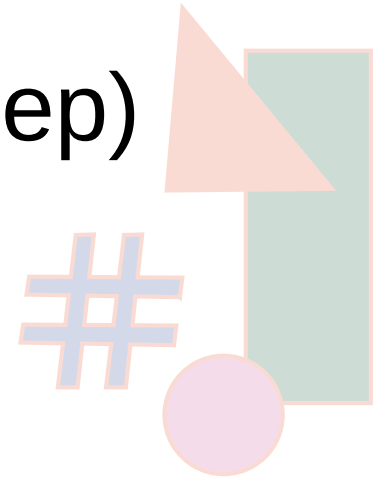
Подмена системного вызова (пример)



```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

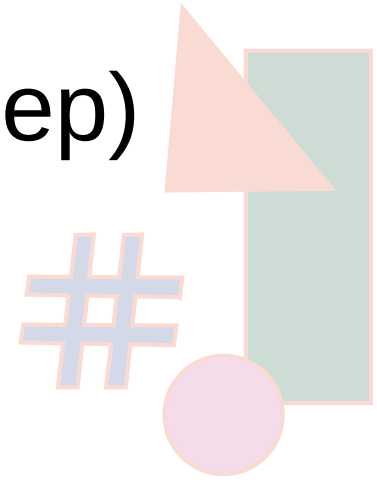
PostgresPro

Подмена системного вызова (пример)



```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

Подмена системного вызова (пример)

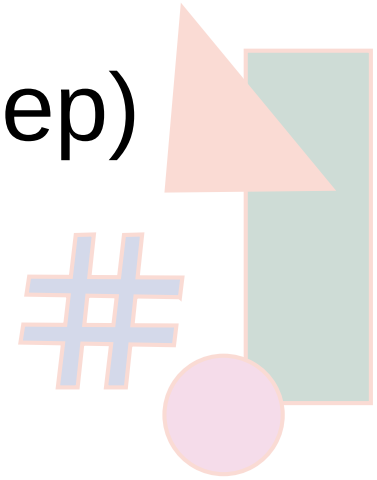


```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

Подмена системного вызова (пример)

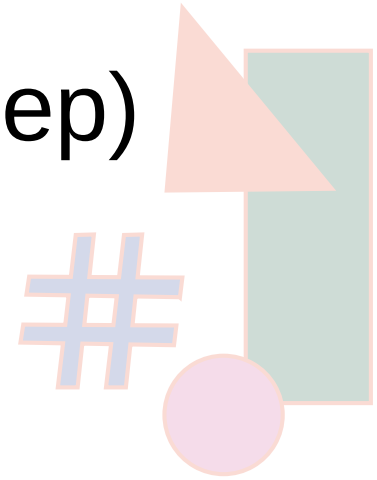
```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

Подмена системного вызова (пример)



```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

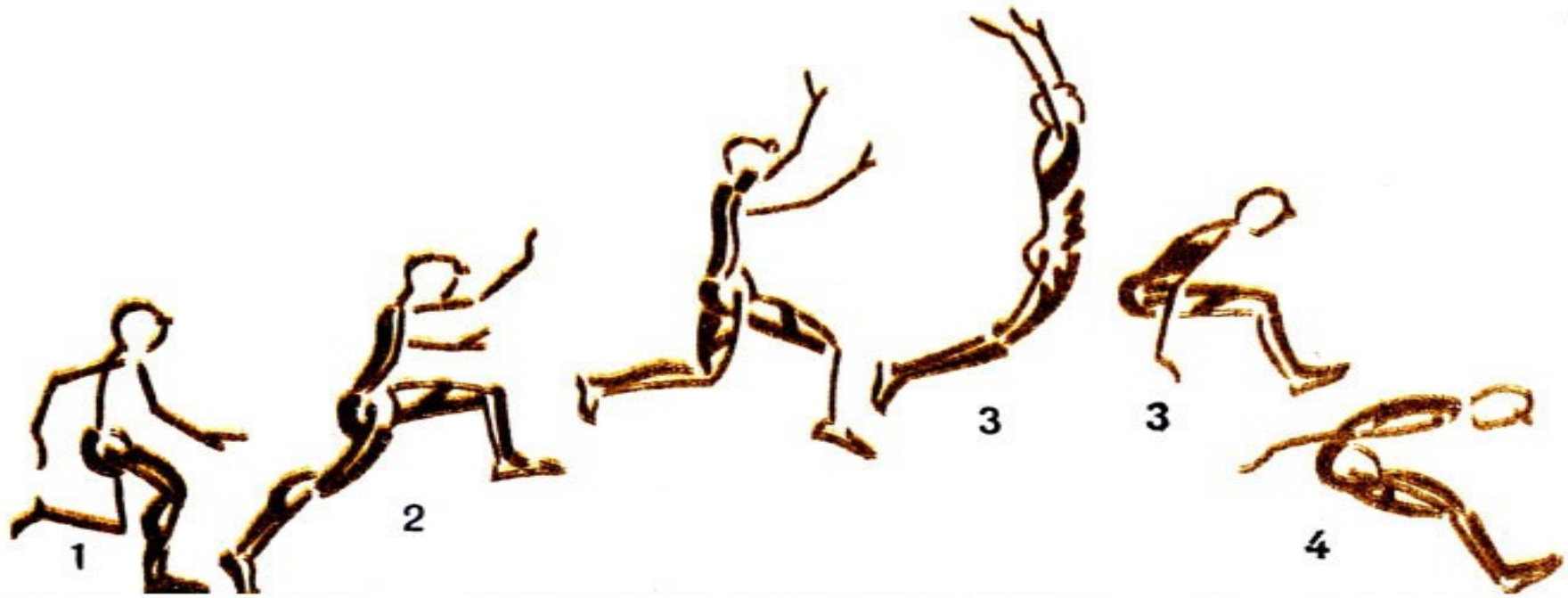
Подмена системного вызова (пример)



```
int (*original_getchar)();
original_getchar = dlsym(RTLD_NEXT, "getchar");
char *fake_input = "fake_input_buf";
int getchar()
{
    if(!getenv("FAKE_IT")) return original_getchar();
    if (fake_input[0] == '\0') return EOF;
    fake_input++;
    return(fake_input[-1]);
}
```

PostgresPro

Этапы установки соединения и их подмена



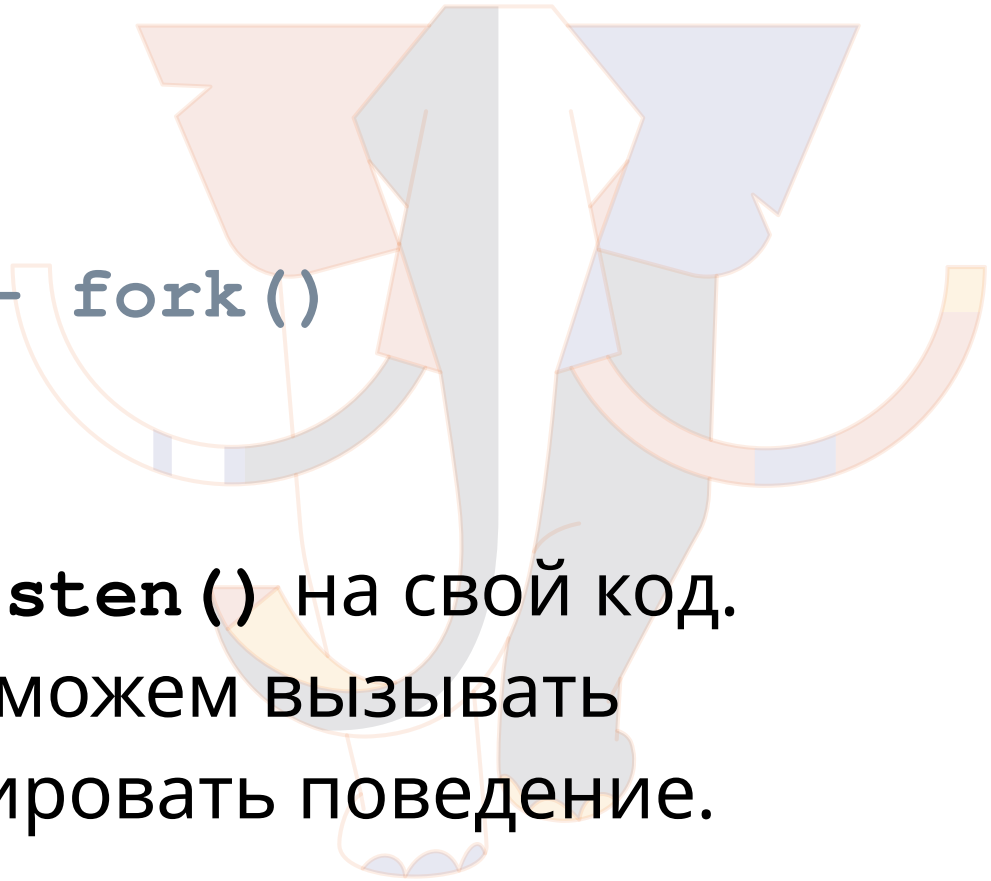
PostgresPro

Шаги установки сетевого соединения

- `socket()`
- **`bind()`**
- `listen()`
- **`select() / epoll_wait()`**

`----------------------------` `fork()`

- **`accept()`**
- **`recv() / send()`**



Подменяем все кроме **`socket()`** и **`listen()`** на свой код.
Можем жить полностью автономно, можем вызывать оригинальные вызовы, но модифицировать поведение.

Режимы работы ложной сети

- Захват
- Воспроизведение
- Подмена

В режиме «Захват» собираем образцы, в режиме «Воспроизведение» подкладываем выхлоп фаззера вместо нужного пакета. «Подмена» хороша для ручных исследований.

PostgresPro

Что нашлось

Theodor Larionov

В PostgreSQL 13, переполнение при создании отрицательного месячного интервала

```
SELECT * from TO_CHAR(interval '-1Mon', 'rm');
```

BUG #16953

PostgresPro

Запуск в один процесс с сохранением сетевой подсистемы

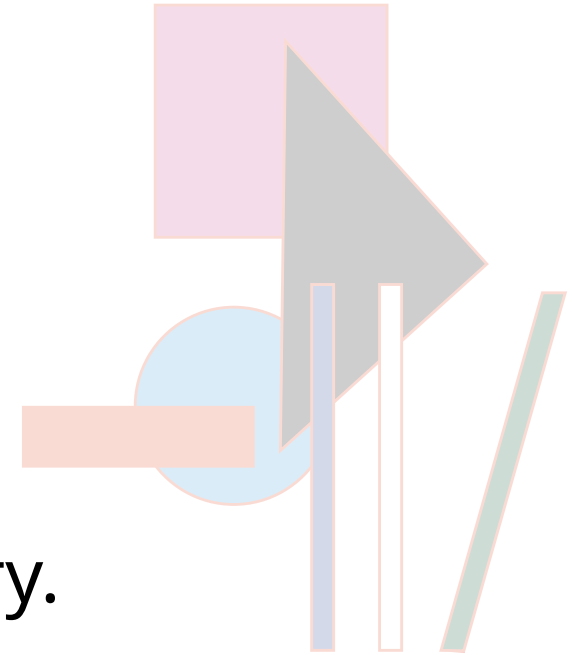
Запуск в один процесс

Суть проблемы:

- Фаззер не работает с многопроцессными системами;
- Single Mode не подходит, нужна рабочая сетевая подсистема.

Нормальный режим:

- Запускается PostMaster;
- Приходит входящий запрос;
- PostMaster от-fork’ивает от себя Backend;
- Backend отвечает на запрос и завершает работу.



Запуск в один процесс

Решение:

– А зачем нам Backend? Пусть PostMaster сам отвечает на запрос.

– Так он же после этого завершит работу весь целиком!

– Так и цикл фаззинга у нас на этом закончится.

Запуск в один процесс

```
--- a/src/backend/postmaster/postmaster.c
+++ b/src/backend/postmaster/postmaster.c
@@ -4295,7 +4295,8 @@ BackendStartup(Port *port)
 #ifdef EXEC_BACKEND
     pid = backend_forkexec(port);
 #else                                   /* !EXEC_BACKEND */
-    pid = fork_process();
+    pid = 0;
     if (pid == 0)                       /* child */
     {
         free(bn);
```

И отключить в паре мест проверку живости PostMaster’а

PostgresPro

Background worker'ы тоже не нужны

Отключаем Background Worker’ы

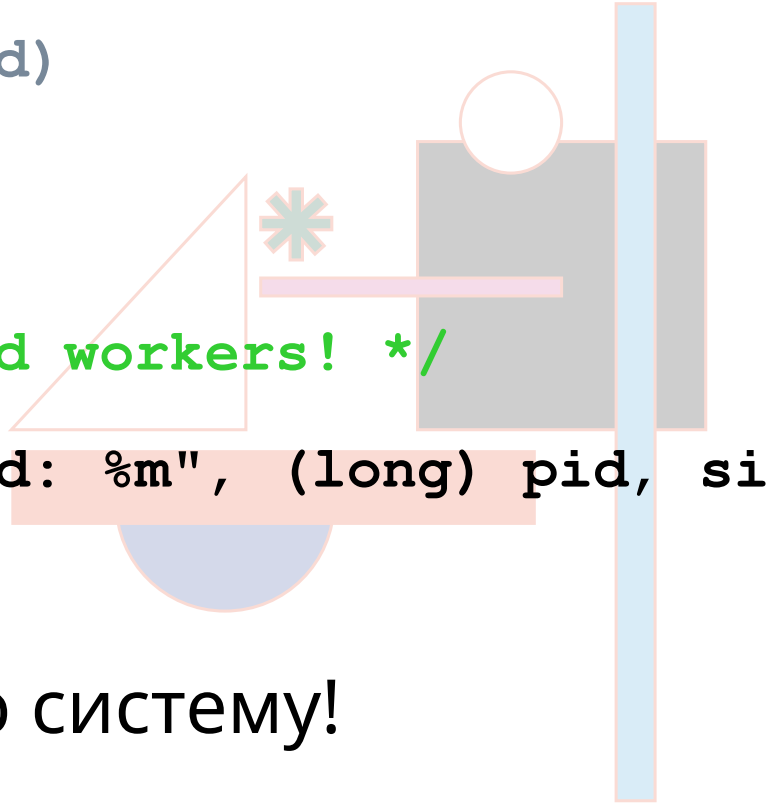
```
--- a/src/backend/postmaster/postmaster.c
+++ b/src/backend/postmaster/postmaster.c
@@ -6304,6 +6306,14 @@ StartChildProcess(AuxProcType type)
 {
        pid_t           pid;

+       if (type == BgWriterProcess ||
+           type == CheckpointerProcess ||
+           type == WalWriterProcess)
+           return -1;
 #ifdef EXEC_BACKEND
        {
                char            *av[10];
```

Отключаем Background Worker’ы

И больше не посылаем им сигналы!

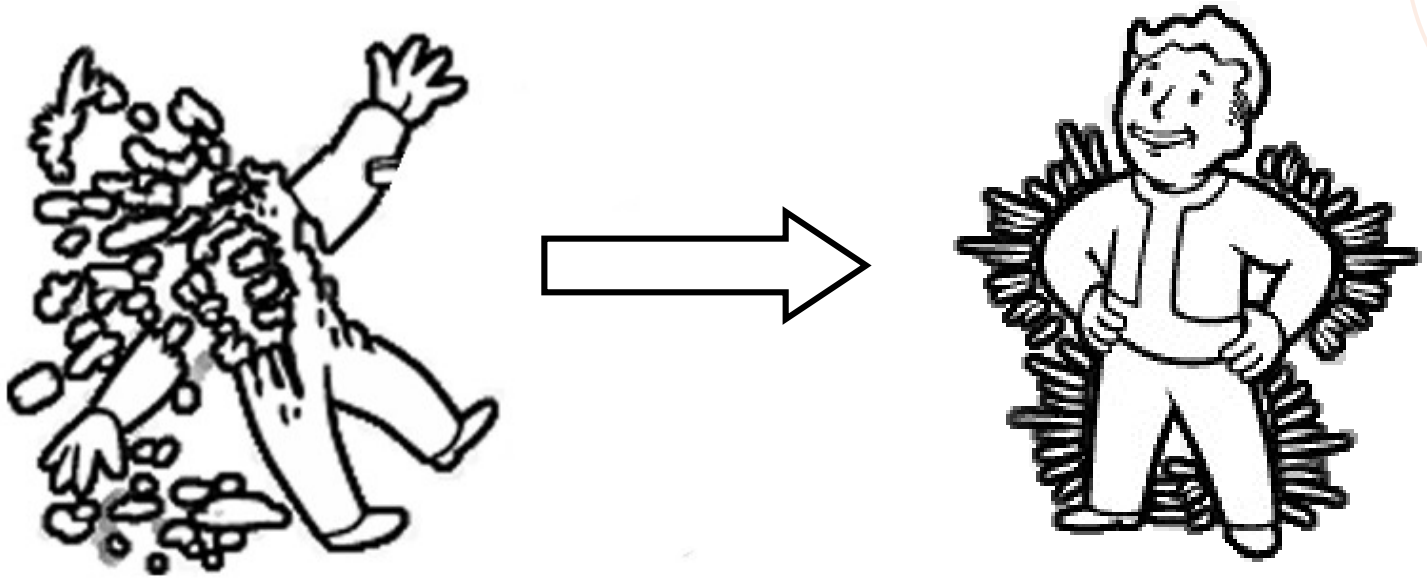
```
--- a/src/backend/postmaster/postmaster.c
+++ b/src/backend/postmaster/postmaster.c
@@ -4589,6 +4589,8 @@ PostmasterStateMachine(void)
 static void
 signal_child(pid_t pid, int signal)
 {
+       if (pid == -1)
+               return; /* Do nothig for disabled workers! */
        if (kill(pid, signal) < 0)
                elog(DEBUG3, "kill(%ld,%d) failed: %m", (long) pid, si
 #ifdef HAVE_SETSID
```



Иначе оно при остановке заберет с собой всю систему!

PostgresPro

Восстановление дискового контекста



PostgresPro

Восстановление дискового контекста

Используем возможности btrfs

PostgresPro

Контакты

Николай Шаплов

Postgres Professional

E-mail: n.shaplov@postgrespro.ru

Matrix: @n.shaplov:postgrespro.ru