

Автоматическое обнаружение гонок при параллельной сборке с использованием утилиты Make

Студент: Артем Климов

Научный руководитель: Дмитрий Мельник

Научные консультанты: Владислав Иванишин, Александр Монаков

20 июня 2024 г.

ИСП **РАН**

- **Введение.** Состояния гонок в Makefile. Примеры и формулировка проблемы.
- **Обзор существующих решений.**
- **Демонстрация** разработанного инструмента в виде сантайзера для Make.
- **Тестирование** решения на реальных проектах, **сравнение** с существующими решениями. **Заключение.**

Введение

Состояние гонки — ситуация, когда несколько потоков работают с одним и тем же ресурсом одновременно, и результат выполнения программы зависит от порядка выполнения потоков.

- Одновременное чтение и запись по одному и тому же адресу;
- Создание каталога и одновременная работа с его содержимым;
- Удаление ресурса без ожидания окончания его использования.

Введение: Состояния гонок

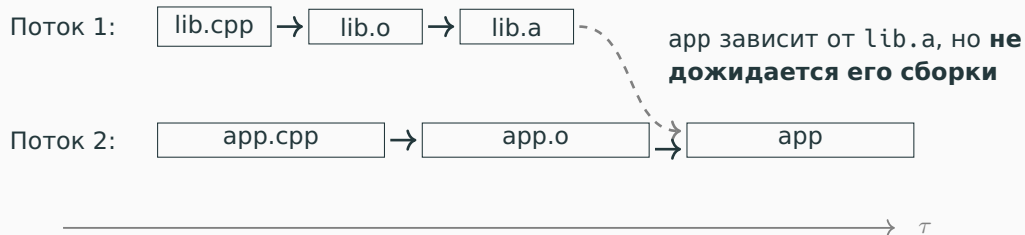
Пример: Два потока пытаются увеличить переменную counter, если она меньше 1.

```
1  std::atomic<int> counter = 0;
2
3  void thread1() {
4      if (counter < 1)
5          counter++;
6  }
7
8  void thread2() {
9      if (counter < 1)
10         counter++;
11 }
```

С неудачным планированием переменная может быть увеличена дважды, и окончательное значение будет равно 2.

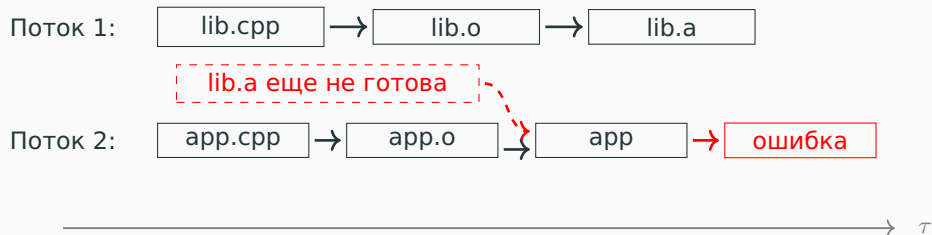
Введение: Состояния гонки в схемах сборки

- Цели сборки могут собираться параллельно;
- При отсутствии необходимой синхронизации могут возникать гонки.



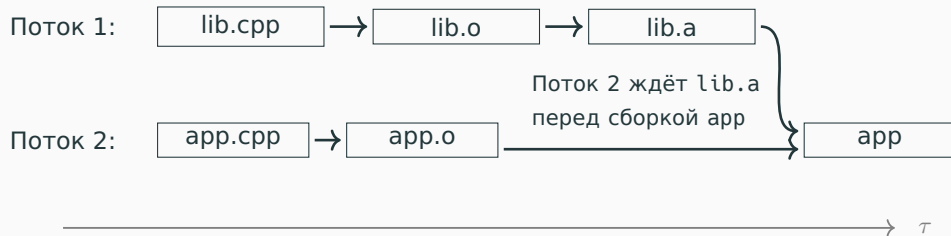
Введение: Состояния гонки в схемах сборки

- Если сборка библиотеки затянется, произойдет ошибка:



Введение: Состояния гонки в схемах сборки

- **Решение:** Определить пропущенную зависимость и добавить ее в схему сборки.



Введение: Состояния гонок в реальных проектах

Ошибки сборки, связанные с состояниями гонок, часто становятся предметом обсуждения на форумах:

Bug 351559 (parallel-make) - [TRACKER] packages failing to use parallel make

Status: CONFIRMED

Reported: 2011-01-13 13:58 UTC by Dane Smith (RETIRED)

Alias: parallel-make

Product: Quality Assurance

Depends on: [259117](#) [295724](#) [299224](#) [312407](#) [343617](#) [410065](#) [413581](#) [458968](#) [483948](#) [493950](#) [494244](#) [500574](#) [500752](#)
[509498](#) [514092](#) [554464](#) [654130](#) [687924](#) [752042](#) [754321](#) [775107](#) [798657](#) [837875](#) [843458](#) [870196](#) [879547](#)
[879847](#) [880057](#) [880151](#) [880159](#) [880169](#) [880189](#) [880319](#) [880321](#) [880323](#) [880327](#) [880367](#) [880371](#) [880599](#)
[880621](#) [880921](#) [881009](#) [881033](#) [883045](#) [889569](#) [895704](#) [911843](#) [913354](#) [914429](#) [915679](#) [919576](#) [921613](#)
[922896](#) [924672](#) [926513](#) [246863](#) [259033](#) [265188](#) [266739](#) [326493](#) [333049](#) [351592](#) [352119](#) [359123](#) [373473](#)
[380373](#) [403023](#) [427844](#) [434018](#) [405032](#) [481338](#) [430380](#) [434030](#) [300378](#) [301378](#) [303702](#) [374282](#) [373700](#)

Состояния гонок в схемах сборки являются актуальной проблемой:

- Сценарий гонки может редко воспроизводиться;
- Состояния гонок могут приводить не только к ошибкам сборки, но и к уязвимостям и проблемам в успешно собранном проекте.

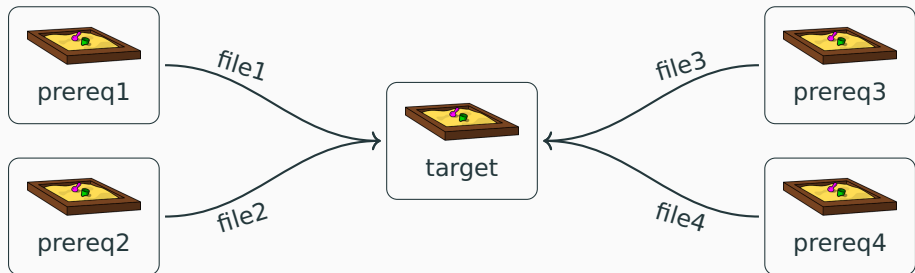
Цель исследования: Разработать инструмент для упрощения поиска и отладки состояний гонок в схемах сборки. Требования к нему:

- Обнаруживать все гонки, связанные с отсутствующими зависимостями;
- Выдавать детерминированный результат;
- Легко встраиваться в проекты;
- Не требовать $\sim 10^4$ или многократных пересборок.

Обзор существующих решений

Обзор существующих решений: Bazel

- Система сборки Bazel — использует песочницы для устранения случайности.
- Каждая цель собирается в своей песочнице.
- Каждая песочница имеет только файлы, собранные целями-зависимостями.



- `make --shuffle` — перемешивает список пререквизитов каждой цели.
- Это увеличивает вероятность проявления гонки, но помогает не всегда.

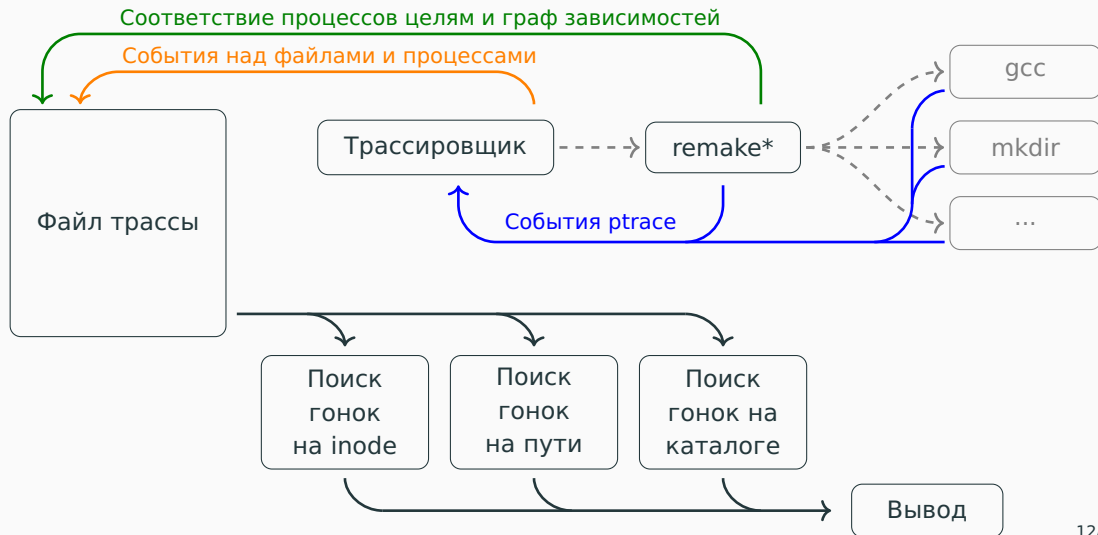
`target: prereq1, prereq2, prereq3, ...`



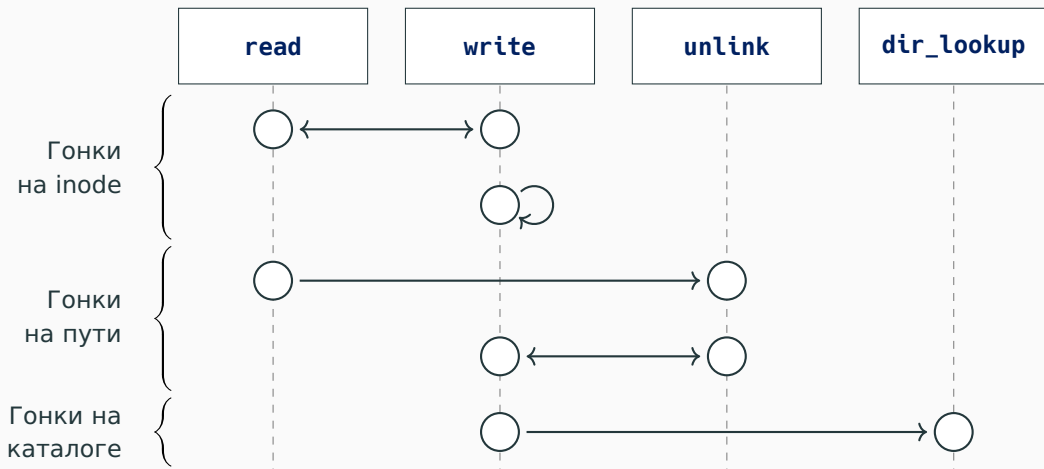
`target: prereq5, prereq2, prereq4, ...`

Реализация

Реализация: Архитектура



Реализация: Виды гонок



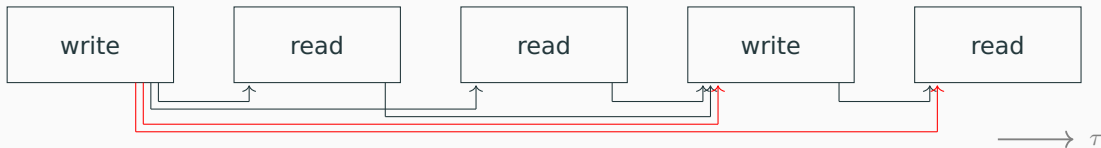
Реализация: Перехват системных вызовов

Системный вызов	Событие для санитайзера
<code>open(at)(at2)</code>	read или write
<code>mkdir(at)</code>	write
<code>creat</code>	write
<code>rmdir</code>	unlink
<code>unlink(at)</code>	unlink
<code>rename(at)(at2)</code>	unlink целевого пути, если он существует.

- Дополнительно отслеживаются `fork`, `clone`, `exec`, `spawn`.
- Остальные системные вызовы фильтруются через `seccomp BPF`.

Реализация: Метод критических доступов

- Санитайзер сообщает о гонке путём поиска зависимостей между парами конфликтующих доступов;
- Разработан метод, позволяющий пропускать ненужные проверки, сокращая сложность до линейной.



- Это позволяет санитайзеру работать быстро на проектах любого размера.

1. Фильтр BPF и метод критических доступов увеличивает скорость работы санитайзера;
2. Санитайзер поддерживает три вида гонок, полагается на номера inode, чтобы находить гонки между жёсткими ссылками;
3. Санитайзер поддерживает установку точек останова и отладку с помощью интерактивной консоли;
4. Отладка всех обнаруженных состояний гонок может производиться на одной и той же записанной трассе, без пересборки проекта.

Тестирование

Сергей Трофимович с помощью `make --shuffle` обнаружил состояния гонок в 29 проектах с открытым исходным кодом, включая:

1. Vim
2. GCC
3. strace
4. Ispell

<https://trofi.github.io/posts/249-an-update-on-make-shuffle.html>

- Ошибка при сборке Vim:

```
1 cp: cannot create regular file '../bin/vimtutor': No such file or directory
2 make[1]: *** [Makefile:2546: installtutorbin] Error 1
3 make[1]: Leaving directory '/build/source/src'
```

- bin/vimtutor не существует, хотя требуется целью **installtutorbin**.
- Санитайзер сообщил об этой гонке:

```
race found on file 'inst_dir/bin':
- write at target inst_dir/bin
- dir_lookup at target installtutorbin
```

- Цели **inst_dir/bin** и **installtutorbin** являются **неупорядоченными**

Тестирование: Другие гонки в Vim

- Санитайзер также сообщил о ранее неизвестных гонках:

race found at file `'src/po/LINGUAS'`:

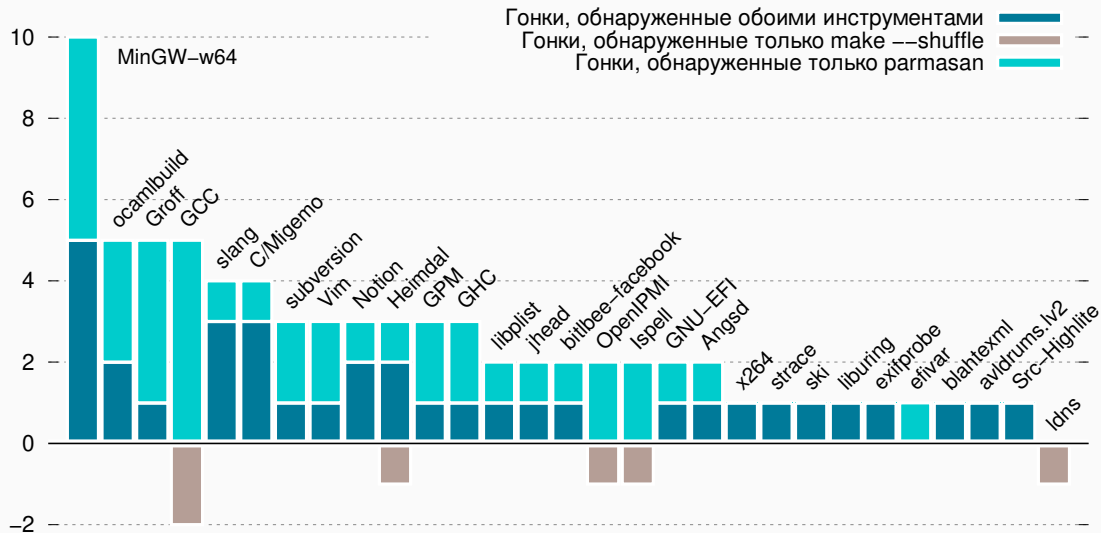
- **write** at target **gvim.desktop**
- **write** at target **vim.desktop**

- LINGUAS — временный файл, используемый в двух независимых целях.

```
216 vim.desktop: ...  
217     echo ... > LINGUAS  
218     $(MSGFMT) ...  
219     rm -f LINGUAS  
220  
221 gvim.desktop: ...  
222     echo ... > LINGUAS  
223     $(MSGFMT) ...  
224     rm -f LINGUAS
```

- Эту гонку нельзя обнаружить с помощью `make --shuffle`

Тестирование: Результаты



- Санитайзер замедляет сборку проекта на 11-13% вне зависимости от его размера.

Программа	Время сборки	Время сборки с санитайзером	Замедление
vim	18.3с	20.7с	13.1%
x264	29.6с	33с	11.5%
exifprobe	1.36с	1.53с	12.6%
angsd	21.3с	23.8с	11.7%
gcc	-	-	-%

Разработанный инструмент продемонстрировал свою эффективность и помог достичь цели исследования. Он был назван **parmasan** — **Parallel make sanitizer**.

Дальнейшие улучшения:

- Улучшение учета символических ссылок в алгоритме поиска гонок;
- Интеграция инструмента в системы непрерывной интеграции;
- Добавление поддержки системы сборки **Ninja**;
- Поддержка внешних отладчиков.

Репозитории:

- <https://github.com/ispras/parmasan>
- <https://github.com/ispras/parmasan-remake>