



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA**
Univerzita Karlova

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

David Jaromír Šebánek

Vizualizace trasování procesů v Linuxu

Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Kára, Ph.D.

Studijní program: Informatika (B0613A140006)

Praha 2025

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Poděkování: Chtěl bych především poděkovat svému vedoucímu, kterým byl RNDr. Jan Kára, Ph.D., a to za neustálou podporu a ochotu pomoci mi napsat tuto práci. Chtěl bych také poděkovat Michalu Koutnému, který mne a vedoucího dostal do kontaktu. Dále chci poděkovat Yordanu Karadzhovi, Ph.D., díky němu jsem byl schopen lépe pochopit KernelShark a vyvíjení pluginů pro něj. Speciální poděkování chci věnovat Jakubu Mudrovi, který mi pomohl s kontrolou pravopisu a pochopitelnosti celé práce. Další speciální poděkování za kontrolu kvality patří Tereze Uhlíkové. Dodatečně děkuji i PhDr. Petře Hoffmanové za opětovné odemčení práce pro úpravu posledních z chyb. Nakonec bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za neustálou podporu, malou i velkou.

Název práce: Vizualizace trasování procesů v Linuxu

Autor: David Jaromír Šebánek

Katedra: Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Kára, Ph.D., Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá trasováním v operačním systému Linux s důrazem na aplikaci KernelShark. Teoretická část popisuje principy trasování a dostupné vizualizační nástroje, zatímco praktická část představuje návrh a realizaci několika vylepšení KernelSharku. Mezi hlavní rozšíření patří úprava grafického rozhraní pro efektivnější práci s Trace-cmd, rozdělování vybraných typů událostí, vizualizace NUMA topologie systému (zejména NUMA uzlů, jader a procesorů v jádrech), plugin pro sledování nečinnosti procesů a plugin pro příjemnější analýzu záznamů zásobníku jádra. Kromě toho byla přidána i drobnější technická vylepšení. Každé rozšíření je doplněno technickým popisem, vývojovou a uživatelskou dokumentací a zhodnocením, nakolik byla splněna stanovená očekávání.

Klíčová slova: Linux, trasování

Title: Visualization of tracing of processes in Linux

Author: David Jaromír Šebánek

Department: Department of Distributed and Dependable Systems

Supervisor: RNDr. Jan Kára, Ph.D., Department of Distributed and Dependable Systems

Abstract: This bachelor's thesis focuses on tracing in the Linux operating system with an emphasis on the KernelShark application. The theoretical part describes tracing principles and available visualization tools, while the practical part presents the design and implementation of several KernelShark enhancements. Key improvements include a GUI modification for more efficient work with Trace-cmd, splitting of selected event types, visualization of the system's NUMA topology (mainly NUMA nodes, cores, and processors within cores), a plugin for monitoring process idleness, and a plugin for more user-friendly analysis of kernel stack trace records. Additionally, minor technical improvements were made. Each enhancement is accompanied by a technical description, development and user documentation, and an evaluation of how well the defined expectations were met.

Keywords: Linux, tracing

Obsah

Úvod	9
1 Trasování v Linuxu	10
1.1 Definice trasování a použití	10
1.2 Podpora v Linuxu	10
1.2.1 Linuxové Kernel Tracepoints	10
1.2.2 Trasování událostí	11
1.2.3 Ftrace	13
1.2.4 Perf	17
1.2.5 Kernel Probes - Kprobes	18
1.2.6 Histogramy událostí	19
1.2.7 Další trasovací technologie	21
1.3 LTTng - Linux Trace Toolkit: next generation	23
2 Vizualizace trasovacích dat	24
2.1 Proč vizualizovat	24
2.2 HPerf	24
2.3 Flame Graphs	25
2.4 TraceShark	26
2.5 KernelShark	27
3 KernelShark	28
3.1 O autorech	28
3.2 Instalace	28
3.3 Použití	29
3.4 Pluginy	34
3.5 Architektura programu	34
4 Obecná analýza a stanovení požadavků	36
4.1 Jazyk dokumentace	36
4.2 Pluginy a modifikace	36
4.2.1 Označení modifikací v kódu	37
4.3 Výběr vylepšení	37
4.3.1 Lepší analýza zásobníku kernelu	37
4.3.2 Dělení vlastnictví událostí souvisejících se dvěma procesy	39
4.3.3 Vizualizace nečinnosti procesů	40
4.3.4 Vizualizace NUMA topologie CPU vedle grafu	41
4.3.5 Dodatečná vylepšení	42
4.4 Ukázková data	43
4.5 Verze KernelSharku	43
5 Record Kstack	44
5.1 Cíl	44
5.2 Analýza	44
5.3 Vývojová dokumentace	44

5.4	Uživatelská dokumentace	44
5.4.1	Instalace	44
5.4.2	GUI	45
5.5	Rozšíření	45
5.6	Zhodnocení splnění požadavků	45
6	Stacklook	47
6.1	Cíle	47
6.2	Analýza	47
6.2.1	Propojení pluginu s KernelSharkem	48
6.2.2	Analýza modulů řešení	48
6.2.3	Údaje v informačním řádku	50
6.2.4	Získání záznamů zásobníku	51
6.2.5	Plugin pro nemodifikovaný KernelShark	51
6.3	Vývojová dokumentace	51
6.4	Uživatelská dokumentace	54
6.4.1	Jak sestavit a instalovat Stacklook	54
6.4.2	Jak zapnout/vypnout Stacklook	56
6.4.3	Jak používat Stacklook	56
6.4.4	Doporučení	62
6.5	Bugy a chyby	63
6.6	Rozšíření	63
6.7	Kritika	63
6.8	Zhodnocení splnění požadavků	64
7	Couplebreak	65
7.1	Cíle	65
7.2	Terminologie	65
7.3	Analýza	66
7.3.1	Vytváření umělých záznamů	66
7.3.2	Stav Couplebreaku	68
7.3.3	Úprava rozhraní datových streamů	68
7.3.4	Nové Couplebreak API	69
7.3.5	Konfigurace	69
7.3.6	Filtry	69
7.3.7	Propojení s relacemi	70
7.3.8	Kompatibilita sched_events s Couplebreakem	70
7.3.9	Zamítnutá alternativní řešení	70
7.4	Vývojová dokumentace	71
7.4.1	Struktura modifikace	71
7.4.2	Úprava mimo hlavní logiku modifikace	73
7.4.3	Vyvíjení pro KernelShark s Couplebreakem	74
7.5	Uživatelská dokumentace	75
7.5.1	Instalace	75
7.5.2	GUI	75
7.6	Bugy a chyby	78
7.7	Rozšíření	78
7.8	Kritika	80

7.9	Zhodnocení splnění požadavků	80
8	Naps	81
8.1	Cíle	81
8.2	Analýza	81
8.2.1	Propojení s KernelSharkem	81
8.2.2	Kreslení obdélníků do grafu	82
8.2.3	Nap obdélníky	82
8.2.4	Konfigurace	83
8.2.5	Plugin pro nemodifikovaný KernelShark	83
8.3	Vývojová dokumentace	83
8.4	Uživatelská dokumentace	85
8.4.1	Instalace	85
8.4.2	Naps v GUI	87
8.4.3	Doporučení	91
8.5	Bugy a chyby	91
8.6	Rozšíření	91
8.7	Kritika	92
8.8	Zhodnocení splnění požadavků	92
9	NUMA Topology Views	93
9.1	Cíle	93
9.2	Terminologie	94
9.3	Analýza	96
9.3.1	Hwloc	96
9.3.2	Hlášení chyb	96
9.3.3	Konfigurační dialog	96
9.3.4	Konfigurace NUMA TV	97
9.3.5	Grafická reprezentace topologie	98
9.3.6	Relace	101
9.3.7	Zařazení mezi existující kód	101
9.3.8	Zamítnutá alternativní řešení	101
9.4	Vývojová dokumentace	102
9.4.1	Struktura modifikace	102
9.4.2	Úpravy mimo hlavní logiku modifikace	105
9.4.3	Vyvíjení pro KernelShark s NUMA TV	105
9.5	Uživatelská dokumentace	106
9.5.1	Stav při otevření KernelSharku	106
9.5.2	Konfigurace	106
9.5.3	GUI	107
9.5.4	Podpora relací	109
9.6	Bugy a chyby	110
9.7	Rozšíření	110
9.8	Kritika	112
9.9	Zhodnocení splnění požadavků	113

10	Dodatečná vylepšení	114
10.1	Aktualizace kódu zaškrťovacích políček	114
10.2	Zpřístupnění barev užívaných v grafu	114
10.3	Reakce objektů v grafu na přejetí myší	115
10.4	Měnitelné nápisy v hlavičce grafu	115
10.5	NoBoxes	116
	Závěr	118
	Literatura	119
	Seznam obrázků	121
A	Přílohy	123
A.1	Soubory s ukázkovými daty	123
A.2	Odkazy na Git repozitáře	123

Úvod

Na světě je mnoho počítačů, mnoho operačních systémů a ještě více programů pro tyto systémy. Mnoho větších systémů je dnes i distribuovaných, s mnoha procesory a technologiemi, které se snaží využít tyto výpočetní jednotky v maximální možné míře. Moderní systémy hojně využívají přepínání mezi procesy k zefektivnění využívání existujících zdrojů. Ovšem výkon systému nemusí omezovat jen limity technologií, z nichž je sestaven. Mohou jej zdržovat i procesy, které na něm běží. V tom případě je nutné začít zkoumat, kde se práce zdržuje, na co se nejvíce čeká a proč se na to čeká. Nalezený problém lze pak hlouběji analyzovat a výkon tak s vyřešeným problémem navýšit.

Na hledání takových problémů existuje mnoho metod, tato práce se bude zabývat pouze jednou z nich - trasováním systému. Ve zkratce, trasování systému je úkon, při němž se na systému spustí program, který zaznamenává, co přesně systém během nějaké práce dělá. Program zaznamenaná data uloží, ovšem data jsou často zakódována tak, aby se šetřilo místem - uživatel z těchto dat častěji spíš nic nevyčte než naopak.

Na záchranu přicházejí programy vizualizující tato data. Vizualizace představují data uživateli ve formátu, ve kterém může příjemněji hledat oblasti, kdy byl výkon systému příliš nízký. Jedním z takových vizualizačních nástrojů je program KernelShark pro operační systém Linux. KernelShark dokáže efektivně zobrazit rozhodnutí systémového plánovače úloh, na jakém CPU proces pracoval, na jakém CPU práci obnoví, jak dlouho období nečinnosti trvá a podobně. Avšak žádný program není dokonalý, KernelShark nevyjímaje. Neumožňuje ale například snadno získat důvod usnutí procesu, na kterou událost nebo proces čeká. K tomuto je nutné využít další nástroje. Analýza problémů pak musí spoléhat na několik dalších nástrojů pro získání celé představy o systému a událostech v něm, což je v praxi nepříjemné či obtížné, často až nemožné.

Cíle práce

Cíle práce jsou primárně dva: hlouběji představit trasování, jeho vizualizaci a KernelShark, než jak je nastiňuje úvod výše, a vylepšit KernelShark tak, aby analýza trasovacích dat byla informativnější nebo uživatelsky příjemnější.

Struktura práce

Kapitoly práce lze rozdělit na dvě části. První část je teoretická a pokrývá kapitoly jedna až tři. V nich se hlouběji popisuje trasování v Linuxu, nástroje pro sběr a vizualizaci trasovacích dat a speciálně věnuje jednu kapitolu KernelSharku. Druhá část je zaměřená na vylepšení KernelSharku a pokrývá kapitoly čtyři až deset. Jedná se o analýzy požadavků na vylepšení, detailní popisy technických rozhodnutí implementace, vývojové a uživatelské dokumentace, návrhy rozšíření, kritiky a zhodnocení splnění podmínek. Každé vylepšení má vlastní kapitolu, dodatečná vylepšení jsou seskupena v jedné kapitole a jejich popisy jsou stručnější. Závěr shrnuje výsledky práce a nastiňuje budoucnost vyvinutých vylepšení.

1 Trasování v Linuxu

V této kapitole si představíme trasování systémů, specificky trasování v operačním systému Linux. Zároveň představíme i některé nástroje, díky kterým lze trasovací data sbírat. Po přečtení kapitoly by měl mít čtenář alespoň hrubou představu o konceptu trasování a o jeho podpoře na Linuxu, především o částech, které budou relevantní pro zbytek práce. Čerpat budeme hlavně z oficiální dokumentace trasování v Linuxu [1].

1.1 Definice trasování a použití

Trasování lze definovat jako „sběr událostí a jejich dat, které se staly během běhu trasovaného systému či trasovaného procesu“. Podobný termín, logování, lze definovat podobně, nicméně trasování je většinou akce sběru nízkoúrovňových dat, která slouží hlavně vývojářům, zatímco logování se takto většinou neomezuje. Trasovací data pak slouží k pohledu na chování systému jako celku, jak spolu některé události souvisí a detailní informace o každé události. Tato data převážně slouží k diagnostice systémů - ať už se jedná o hledání anomálií, míst pro optimalizace, či jako způsob ladění.

1.2 Podpora v Linuxu

Linux široce podporuje trasování kernelu několika různými způsoby a některé z nich mohou navazovat na jiné. Jedním ze způsobů je použití tracepointů v kernelu. Dalším je *tracefs*, systém k trasování událostí. Zajímavé jsou *kprobes*, které umožňují trasovat při běhu kernelu. Pro tuto práci nejzajímavějšími technologiemi pak budou *Ftrace* a právě *systém k trasování událostí*. Krom vyjmenovaných existují další způsoby a nástroje pro trasování, nicméně vyjmenování všech není ani nutné, ani zajímavé.

Následující sekce nepředstavují vyčerpávající seznam existujících technologií, nýbrž jen výběr takových, které se autorovi zdály relevantní k této práci či obecně zajímavé. Relevantní technologie jsou více rozepsány. Technologie zajímavé jsou pak zmíněny na konci a bez tolika detailů.

1.2.1 Linuxové Kernel Tracepoints

Pro trasování částí kernelu obsahuje Linux podporu skrze tzv. tracepoints [2], počestně „tracepointy“. Těmi se dají označit místa v kódu jádra a k těmto místům připojit sondovací funkce. Dokumentace kernelu rozlišuje tracepointy na zapnuté a vypnuté. Vypnuté tracepointy nemají na chod kernelu vliv, kromě nepodstatné časové (kontrola podmínky) a paměťové (existence v kódu) stopy. Tracepoint je vypnutý, pokud nedostal sondovací funkci, což je nějaká funkce spuštěná při průchodu skrze tracepoint. Opakem je zapnutý tracepoint - když kód přechází přes něj, zavolá se sonda tracepointu a po své práci se vrací na místo volání. Sondovací funkce mohou dělat různou práci, ale častým úkolem je vytvořit trasovací událost v místě tracepointu a zapsat ji na konec trasovacího bufferu.

Trasovací buffer je v paměti, má omezenou velikost a je cyklický (po zapsání N událostí, kde N je kapacita bufferu, se před zapsáním další události odstraní událost nejstarší).

Tracepointy lze deklarovat a definovat pomocí souboru `linux/tracepoint.h`. V tomto souboru jsou definována makra a funkce pro tyto účely. Makrům se dodají názvy tracepointu, prototyp sondy a názvy jejích parametrů. Hlavička také obsahuje soubor funkcí, s nimiž lze přiřazovat sondy tracepointům pomocí registrací a deregistrací. Lze také rychle kontrolovat, zdali je tracepoint zapnutý. Důležitou funkcí pak je i volání sondy daného tracepointu přes funkci `trace_<název tracepointu>(<argumenty>)`. Dokumentace kernelu doporučuje nazývat tracepointy ve stylu `subsystém_název-události`. Takto se standardně nazývají ostatní tracepointy v jádře. Tracepoint bude po definici globálně přístupný v celém kernelu a tento formát názvů zabraňuje kolizím. Sondy se předávají při registraci a jsou to nějaké funkce. Při kompilaci se pak kontroluje správný typ funkce.

Tracepointy lze vložit jak do běžných funkcí, tak do inline funkcí, statických inline funkcí i do rozvinutých cyklů. Nedoporučuje se volat tracepointy či kontrolovat zdali jsou zapnuté uvnitř hlavičkových souborů z důvodů vedlejších efektů `include` direktiv se zapnutým makrem `CREATE_TRACE_POINTS`, které nakonec vyústí v nemalý inline a mohou kernel zpomalovat. Proto existuje navíc soubor `tracepoint-defs.h`, který obsahuje funkce, které se mají použít namísto přímého volání funkcí pro tracepointy.

1.2.2 Trasování událostí

S tracepointy 1.2.1 generujícími události můžeme pracovat i více. Základní práci s tracepointy, které vytváří trasovací události, umožňuje systém trasování událostí (dále také nazýván „trasovací systém pro události“) [3]. Události zde označují statické tracepointy, které jsou v kernelu k dispozici po kompilaci.

Adresář `/sys/kernel/tracing/`

Systém s podporou trasování obsahuje v adresáři `/sys/kernel/tracing/` (dále „trasovací adresář“) soubory a podadresáře, díky nimž lze komunikovat s trasovacím systémem pro události. Dohromady se tomuto souborovému systému říká *tracefs*. Předně lze zde zapnout či vypnout různé typy událostí různými způsoby, např. pro zapnutí události „sched/sched_waking“ lze buď napsat:

```
echo 1 > /sys/kernel/tracing/events/sched/sched_waking/enable
```

nebo

```
echo 'sched_waking' >> /sys/kernel/tracing/set_event
```

Pro vypnutí stačí buď předat v prvním způsobu nulu, v druhém pak stačí před název události vložit vykřičník (stále v rozsahu jednoduchých uvozovek). Je možné zapnout či vypnout i všechny události daného podsystému, nebo pracovat s událostmi pouze nějakého modulu kernelu.

Formát událostí

Každá událost obsahuje i soubor se svým formátem. V něm je definována struktura dat události, název a identifikátor události a formát tisku této události. Předepsaný formát je pak využíván při čtení dat z binárních trasovacích záznamů. Data události jsou strukturována do datových polí ve formátu `field:field-type field-name; offset:N; size:N;`. Offset značí offset daného pole v trasovacím záznamu a size je velikost v bajtech. Každá událost obsahuje pole označená prefixem `common_`, události pak mohou dále specifikovat vlastní pole, např. událost „`sched_wakeup`“ obsahuje pole s identifikátorem procesu probouzeného procesem, jemuž událost patří.

Filtrování událostí

Ne všechny události daného typu je nutné sbírat při trasování, někdy nás mohou zajímat jenom pokud splňují další podmínky. Trasování událostí dovoluje specifikovat filtry, tj. predikáty, které se vyhodnotí při každém záznamu dané události. Tyto filtry pak mohou cílit na jednotlivá datová pole. Pro číselná pole se dají použít klasické relační operátory na ekvivalenci (`==`), rozdílnost (`!=`), vztah menší/větší (nebo roven) (`<`, `>`, `<=`, `>=`) a bitové „a zároveň“ (`&`). Pro pole s textem se dají použít operátory na ekvivalenci, rozdílnost a podobnost (`~`). Operátor pro podobnost pak očekává text ve dvojitých uvozovkách, ten může obsahovat sekvenci abecedních znaků, wildcard znaky `?` a `*`, nebo třídu znaků (mezi hranatými závorkami `[]`). Například můžeme zkusit filtrovat pro jméno končící na „`shell`“ a písmena „`s`“, nebo „`t`“, nebo „`u`“: `some_text_field ~ "*shell[stu]"`. Pokud je v textovém poli ukazatel na string v uživatelském prostoru, musíme za název pole dodat `.uststring`. Pokud obsahuje pole ukazatel na funkci, pak musí být dle formátu typu `long` a za název pole se musí připsat `.function`. Pole typu `cpumask` nebo jiné datové pole obsahující číslo CPU lze filtrovat pomocí uživatelem zadané CPU masky ve formátu seznamu CPU. Například výraz `target_cpu & CPUS17-42` vyfiltruje události, jejichž hodnota v poli `.target_cpu` se nachází v rozsahu CPU 17 až 42. Predikáty pro různá pole se dají spojovat přes booleovské operátory a oddělovat závorkami.

Filtry lze přidat k dané události v trasovacím adresáři do souboru `filter` v adresáři události. Stačí přes `echo` zapsat do obsahu tohoto souboru daný predikát. Pokud chceme filtry vyčistit, stačí do souboru zapsat `0`.

Filtry lze nastavovat i pro celé subsystémy (resp. lze nastavit filtr všem událostem přes nastavení pro subsystém, čímž omezíme nutnost opakování stejných příkazů). V tom případě je nutno si dát pozor, aby všechny události v podsystému měly filtrovaná pole. Pokud tomu tak není, je daný filtr ignorován a událost používá filtr předchozí. Filtry budou vždy fungovat na pole společná všem událostem.

Spouštěče událostí

Každá událost může navíc spouštět „příkazy“, tzv. spouštěče, když je zrovna vyvolána. Tyto příkazy mají vlastní filtry, podobně jako filtry pro události. Události mohou mít vícero spouštěčů. Událost, která neprosteoupí filtrem nějakého spouštěče, tento spouštěč nevyvolá. Spouštěče bez filtrů se vždy spustí. Podstatnou vlastností spouštěčů je, že je lze spustit, aniž by byla samotná událost trasována. Tracepoint

události se zavolá, ale pokud není zapnut, nebude událost trasována, nicméně spouštěče (a jejich filtry) spuštěny budou. Tohoto „polo-vypnutí“ se dá docílit skrze příkazy spouštěčů.

Podobně jako u filtrů se spouštěče přidávají do nějakého souboru události v trasovacím adresáři. Tímto souborem je **trigger** v adresáři události, pro kterou chceme spouštěč vytvořit. Formát výrazu přidání spouštěče:

```
echo 'command[:count] [if filter]' > trigger
```

Pro odstranění stačí před **command** přidat vykřičník. Část **if filter** vyžaduje napsání slova **if** a pak filtrovacího predikátu, jako pro filtr události. Část s **:count** pak říká, kolikrát bude spouštěč spuštěn. Zmíníme i chování operátoru **>**, který se chová jako operátor **>>** pro operace přidání a odebrání, tj. je nutno odebrat po jednom. (Hranaté závorky byly použity k označení volitelné části příkazu spouštěče.)

Spouštěcí příkazy jsou předem dány a jsou to právě tyto:

- *enable_event/disable_event* - tyto příkazy buď zapnou nebo „polo-vypnou“ specifikovanou událost při každém vyvolání spouštěcí události. Formát pro tyto příkazy je *enable_event/disable_event:<system>:<event>*, kde *<system>* je název systému, kterému patří událost jménem *<event>*. U těchto příkazů není povoleno mít více spouštěčů (buď zapínacích, nebo vypínacích) pro jeden typ události.
- *stacktrace* - tento příkaz zapíše záznam zásobníku do trasovacího bufferu. Může být jen jeden na spouštěcí událost.
- *snapshot* - tento příkaz vytvoří snapshot při spouštěcí události. Může být jen jeden na spouštěcí událost. Snapshot ve zkratce prohodí současný trasovací buffer s novým bufferem a původní buffer si uloží do souboru **snapshot**. Lze tak nasbírat zajímavé informace bez neustálých zápisů na disk.
- *tracemon/tracemonoff* - tyto příkazy zapínají, nebo vypínají trasovací systém. Není povoleno mít více stejných příkazů na spouštěcí událost.
- *hist* - tento příkaz agreguje vyvolávání spouštěcí události. Data jsou pak využívána v histogramech událostí 1.2.6, další z trasovacích technologií.

1.2.3 Ftrace

Ftrace [4] je interní nástroj kernelu pro vývojáře a návrháře systémů, díky kterému lze nahlédnout do chodu kernelu. Název pochází ze slov „function tracer“, nicméně tento nástroj má dnes funkcionality širší. Jeho hlavním účelem je analýza latencí a výkonu mimo uživatelský prostor. Jedním z nejčastějších využití je při trasování událostí, kde Ftrace využívá schopnosti tracefs. Pokud není tracefs aktivní v Linuxu, použitím Ftrace aktivován bude (tj. tracefs bude připojen přes **mount** příkaz). Ftrace pak má v trasovacím adresáři (připomeneme, že to je **/sys/kernel/tracing**) přístup ke svým řídicím a výstupním souborům. Souborů a adresářů je více, představíme si jen pár z nich, abychom se lépe s Ftrace seznámili.

- *available_tracers* - tento soubor má seznam tracerů, které byly zkompileovány do kernelu. Jeden ze zdejších tracerů lze skrze **echo** zapsat do souboru *current_tracer*, který značí, který tracer má Ftrace při trasování použít.
- *tracing_cpumask* - tento soubor je maska, přes kterou lze nastavit, která CPU mají být součástí trasování přes Ftrace.
- *trace_options* - soubor řídí chování tracerů a tištění výstupu. V souboru je seznam nastavení pro tyto účely. Na zakázání možnosti stačí přes **echo** zapsat do souboru **no<název>**, kde <název> bude jméno možnosti. Bez zakazujícího prefixu bude možnost zapnuta. Vyjmenujeme si pár z možností:
 - *print_parent* - v trasovacích datech funkcí se zobrazí volající funkce vedle trasované funkce.
 - *context-info* - zobrazí se pouze data události, nebudou zobrazeny sloupce s PID, CPU či jiné zajímavé sloupce.
 - *pause-on-trace* - pokud otevřeme soubor trace, pak se trasování zastaví, dokud jej nezavřeme.
 - *record-cmd* - při trasování *sched_switch* události se zaznamenává jak PID, tak jména procesů. Pokud tuto možnost vypneme, nebudeme si ukládat názvy procesů a snížíme tak dopad trasování na výkon.
 - *disable_on_free* - při zavření souboru *free_buffer* se zastaví trasování.
 - *stacktrace* - po každé události se zaznamená zásobník kernelu
- *trace* - v tomto souboru jsou výsledky posledního Ftrace trasování ve formátu čitelném lidmi. Tento soubor nekonzumuje data po přečtení, ta přetrvávají. Pokud je trasování vypnuté, bude se zobrazovat stejný obsah. Soubor by neměl být čten během aktivního trasování, protože výsledky nemusí být konzistentní.
- *free_buffer* - tento soubor je využíván při uvolňování či zmenšování trasovacího bufferu - tato akce je provedena, když je tento soubor zavřen. Zároveň je možné tímto souborem trasování zastavit, pokud k tomu Ftrace nakonfigurujeme.
- *set_ftrace_pid* - Ftrace bude trasovat vlákna procesů jen a pouze s PID v tomto souboru. Pokud Ftrace nakonfigurujeme s možností **function-fork**, pak pokud proces s PID v tomto souboru udělá fork, pak PID podřízených procesů se sem přidají automaticky.
- *kprobe_events* & *kprobe_profile* - používají se u dynamických tracepointů, viz sekce 1.2.5.
- *stack_max_size* - pokud trasujeme zásobník (kernelu), tento soubor udržuje největší ze zaznamenaných velikostí zásobníků.
- *stack_trace* - tento soubor zobrazí největší zaznamenaný zásobník.

- *trace_clock* - záznamy událostí získávají časovou stopu, tedy kdy byly zaznamenány. V tomto souboru se nastavuje, který typ hodin je použit pro časové stopy, přičemž Ftrace používá ve výchozím nastavení hodiny lokální pro každé CPU. Typů hodin je několik, vyjmenujeme jich pouze pár:
 - local - Ftrace použije hodiny lokální pro každé CPU.
 - global - hodiny, které jsou synchronizovány pro všechna CPU, ale jsou trochu pomalejší
 - perf - pro synchronizaci s nástrojem Perf, který tento typ hodin používá. Nástroj má v budoucnu používat Ftrace buffery a tyto hodiny pomůžou s prokládáním dat.
 - counter - atomický čítač, nejsou to opravdové hodiny. Hodí se, pokud je nutné znát přesné pořadí událostí v celém systému (čítač je synchronizován pro všechna CPU).
 - x86-tsc - některé architektury specifikují vlastní hodiny, x86 používá hodiny tohoto typu.
- *per_cpu* - tento adresář obsahuje adresáře pro každé CPU na systému, v nichž jsou některé soubory jako v trasovacím adresáři, ale lokální pouze pro daný procesor. Například lze v *per_cpu/cpu0/trace* vidět obsah posledního trasování na tomto CPU (tj. CPU 0).

Zmínili jsme pojem „tracer“. To je část kernelu, která má za úkol trasovat předem dané typy chování za běhu, zaměřuje se na nějaký aspekt systému. Ftrace má k dispozici několik tracerů, základně *function tracer*, který se sonduje při vstupu do kernelových funkcí. Je možné použít i *function graph tracer*, který sonduje jak při vstupu, tak při výstupu z funkce. Tím dokáže zobrazit další informace, například dobu běhu funkce, nebo pro zkoumání volání funkcí. Dále zmíníme *wakeup tracer*, ten trasuje a zaznamenává maximální latenci mezi probuzením a naplánováním úlohy s nejvyšší prioritou, podobně pak existuje i *wakeup_rt tracer*, který se zajímá pouze o real-time úlohy. Zajímavým příkladem je i *nop tracer*. Pokud jej nastavíme do souboru *current_tracer*, pak ostatní tracery přestanou trasovat.

Chyby

Ftrace používá hlavně návratové kódy, které pak zpracuje jejich příjemce. Složitější chyby se pak ukládají do souboru *error_log* v trasovacím adresáři. Příkazy, které jej umějí číst, mohou z chyb vyčíst detailní informace, jsou-li k dispozici. Log je cyklický a pamatuje si nejvýše osm chyb, tj. chyby z posledních osmi příkazů.

Příklady použití

Ukážeme si pár příkladů použití Ftrace. Použijeme jednoduché tracery a popíšeme zobrazený výstup. První příklad je velmi jednoduchý, použijeme *nop tracer*. Čtení souboru *trace* po trasování s *nop tracerem* vypadá takto:

```

# tracer: nop
#
# entries-in-buffer/entries-written: 0/0   #P:8
#
#          _-----> irqsoff
#          / _-----> need-resched
#          | / _----=> hardirq/softirq
#          || / _--=> preempt-depth
#          ||| / _-=> migrate-disable
#          |||| /      delay
#
# TASK-PID   CPU#  |||||  TIMESTAMP  FUNCTION
#   | |       |   | |||||      |          |

```

Je zřejmé, že nop tracer opravdu nic netrasuje. Jediné, co nám zbylo, jsou vysvětlovací popisky a pár metadat o použitém traceru a záznamech. Nejvýše je název použitého traceru, pak počet záznamů v bufferu na počet zapsaných záznamů a vpravo počet procesorů na systému.

Druhý příklad je o trochu zajímavější. S použitím function traceru jsme získali výstup:

```

# tracer: function
#
# entries-in-buffer/entries-written: 410067/13139037   #P:8
#
#          _-----> irqsoff
#          / _-----> need-resched
#          | / _----=> hardirq/softirq
#          || / _--=> preempt-depth
#          ||| / _-=> migrate-disable
#          |||| /      delay
#
# TASK-PID   CPU#  |||||  TIMESTAMP  FUNCTION
#   | |       |   | |||||      |          |
node-831     [007] ..... 30994.493939: get_futex_key <-futex_wake
node-831     [007] ..... 30994.493940: hash_futex <-futex_wake
node-831     [007] ..... 30994.493940: _raw_spin_lock <-futex_wake
node-831     [007] ..... 30994.493940: mark_wake_futex <-futex_wake
node-831     [007] ..... 30994.493940: __unqueue_futex <- \
                                         mark_wake_futex
node-831     [007] ..... 30994.493941: wake_q_add_safe <-futex_wake
node-831     [007] ..... 30994.493941: wake_up_q <-futex_wake
node-831     [007] ..... 30994.493941: try_to_wake_up <-wake_up_q
node-831     [007] ..... 30994.493941: _raw_spin_lock_irqsave <-\
                                         try_to_wake_up
node-831     [007] d.... 30994.493941: ttwu_queue_wakelist <-\
                                         try_to_wake_up
...

```

Function tracer nám zaznamenal velmi mnoho informací, jak ukazuje hlavička. Výstup jsme zkrátili (a zmáčkli, aby se vešel do kódového bloku). Všechny viditelné funkce jsou z osmého CPU, jsou z jediného procesu a týkají se probouzení. Tento

výpis je z autora počítače na Linuxovém subsystému ve Windows 11 a trasování probíhalo pouze pár vteřin.

Trace-cmd

Trace-cmd [5] je frontendová aplikace pro Ftrace, která zjednodušuje používání tohoto nástroje. Tuto aplikaci vyvinul Steven Rostedt, o kterém ještě uslyšíme v kapitole 3 o KernelSharku. Ftrace vyžaduje používání tracefs a zapisování či čtení ze souborů. S dokumentací je pak používání celkem jednoduché, což je velká výhoda u embedded systémů. Nicméně desktopové systémy mají prostředky ke složitějším nástrojům a způsobům interakce, práce se soubory pak může působit pomale. A právě nástrojem pro jednodušší použití je Trace-cmd. Další důležitou výhodou Trace-cmd je i to, že svá data ukládá v binárním formátu, resp. přímo kopíruje jejich binární reprezentaci z trasovacího bufferu, nikoliv jejich textovou verzi z Ftrace souboru `trace`. Při sběru mnoha událostí je tato vlastnost zásadní, jelikož není potřeba textový formát vytvářet a sběr je stále rychlý. Trace-cmd je důležitým nástrojem pro zbytek této práce, jelikož představuje zdroj dat pro KernelShark.

Trace-cmd dovoluje například vytvořit trasovací záznam pro nějaký proces přes svůj příkaz `trace-cmd record <cmd>`, kde `<cmd>` je jiný příkaz, jehož průběh (resp. průběh procesu, který spustí) má být trasován. Trasovací data jsou pak uložena do souboru, výchozím jménem `trace.dat`. Trace-cmd pak přes příkaz `trace-cmd report <input>`, kde `<input>` je název souboru vytvořeného přes Trace-cmd, dokáže vytvořit výstup, jako při čtení souboru `trace` v trasovacím adresáři. Trace-cmd dovoluje i trasovat přes síť s příkazem `trace-cmd listen`, což může být užitečné pro trasování embedded zařízení, ke kterým máme síťový přístup a nechceme trasování spouštět a číst přímo z nich. Pokud chceme pouze jednoduše začít trasovat přes Ftrace, pomohou příkazy `trace-cmd start` a `trace-cmd stop`. Trasovací data Ftrace lze pak extrahovat do souboru přes `trace-cmd extract`. Trace-cmd dovoluje i všechna trasování vypnout přes příkaz `trace-cmd restart`. Všechny příkazy navíc mají několik možností konfigurojící jejich chování. Například, chceme-li trasovat zásobník kernelu po každé události, pak stačí zadat příkaz `trace-cmd record -T <cmd>`. Příkazů je více [6], tyto jsou ale jedny z nejzákladnějších.

1.2.4 Perf

Nemůžeme zmínit měření výkonu a trasování bez známého a dlouhodobě používaného programu k profilování, *Perf* [7] (původním názvem Performance Counters for Linux/PCL). Profilování vytváří statistiky o běhu systému a často se používá na zjištění toho *kde* je největší výkonová ztráta. Profilování nedokáže odpovědět na otázku *proč* je nějaká část software problémová. K tomu se pak většinou zkoumají právě trasovací data v pořadí výpočtu. Profilování je nicméně velmi důležitou částí analýzy a s trasováním tvoří ty nejzákladnější pilíře výkonostní analýzy.

Nástroj Perf je dostupný již od verze kernelu 2.6 a je součástí kernelové instalace. Perf je schopen pro svou analýzu použít „čítače výkonu“, což jsou hardwarové registry na CPU, které počítají různé údaje, například počet provedených instrukcí, počet přerušení, počet cache-misses, či počet špatně předpovězených větví výpočtu.

Kromě toho dokáže Perf při analýze využít i různé typy událostí, mezi nimiž jsou i tracepointy od Ftrace, nebo události software, mezi něž patří například změna kontextu na CPU. Události dány čítači na CPU a události jako třeba načtení cache pro instrukce nebo naplnění cache TLB se pak označují za události hardware. Dalšími zdroji dat jsou i dynamické trasování přes sondování s kprobe 1.2.5, či uprobe.

Perf dává k dispozici mnoho příkazů, my si představíme jen pár z nich.

- *perf list* - příkaz zobrazí podporované události na daném systému. Na většině systémů bude seznam podobný až na události hardware. Ty se mohou lišit dle použitého procesoru a jeho přítomných čítačů výkonu.
- *perf stat* - tímto příkazem se spustí počítání událostí v příkazu daném jako poslední argument Perf příkazu. Události se dají specifikovat, dokonce i na události uživatelské a kernelové. Perf pak vypíše statistiky událostí po skončení příkazu v argumentu.
- *perf record* - tímto příkazem se Perf připojí k nějakému vlákně procesu a periodicky ukládá své statistiky do nějakého datového souboru. Periodicky zde znamená, že po překročení daného čítače (který čítá vyvolání nějaké předem dané události, výchozí událostí jsou cykly na procesoru) vytvoří Perf statistiky. Tento příkaz dovoluje zaznamenávat statistiky i pro všechna vlákna na monitorovaném CPU.
- *perf report* - tento příkaz interpretuje data v souboru vytvořeném při *perf record*.
- *perf top* - v reálném čase ukazuje procesy/funkce s nejvyšší spotřebou CPU.

Krom příkazů podporuje Perf i spouštění skriptů. Nativně je například podporován skript pro Flame Graphs (viz v druhé kapitole 2.3), které slouží k analýze zásobníku v čase. Dalším zajímavým skriptem je Gecko od organizace Mozilla, který slouží k analýze webových aplikací.

1.2.5 Kernel Probes - Kprobes

Dynamičtější přístup k trasování se objevil u technologie Kprobes [8]. Podobně jako tracepointy, i Kprobes se přidávají do kódu kernelu. Ale narozdíl od statických tracepointů, jež je nutné definovat před kompilací, lze Kprobes přidávat za běhu kernelu. Kprobes se ve skutečnosti dělí na *kprobe* a *kretprobe*. První mohou být přidány skoro všude v kernelu, druhé při návratu z funkcí. Aby šlo technologii využívat, je většinou zkompileována jako kernelový modul a jsou přidány registrační a deregistrační funkce. Registrační funkce pak dostává handler, který se spustí, když program narazí na kprobe.

Kprobe funguje na principu přerušení CPU. Při registraci si uloží sondovanou instrukci. Kprobe pak v originální sondované instrukci změní první bajt či bajty, aby se výpočet přerušil. Kprobe pak zavolá svůj handler, udělá nějakou práci, a nechá CPU běžet dále pomocí kopie sondované instrukce. Důležité je, že v moment práce má kprobe přístup ke všem registrům CPU, tedy i k registru s ukazatelem na vykonávanou instrukci. Proto je nutné při psaní handlerů pro Kprobes být maximálně opatrní, abychom při použití této technologie nerozbili vnitřek kernelu.

Kretprobe vytvoří na vstupu funkce, jejímž je členem, kprobe (té uživatel může i nemusí dát vlastní handler). Kprobes si pak při vchodu do funkce a vyvolání vchodové sondy uloží návratovou adresu a originál nahradí adresou do libovolné části kódu, často k nějaké `nop` instrukci. Tím vytvoří, jak tomu říká dokumentace kernelu, jakousi „trampolínu“, v níž je další kprobe (v této je handler, který uživatel musí pro kretprobe specifikovat). Když se pak sondovaná funkce (ta s vchodovou kprobe) vrací, skočí namísto toho do trampolíny. Handler trampolíny zavolá uživatelem specifikovaný handler a Kprobes pak obnoví původní návratovou adresu z uložené kopie a výpočet pokračuje dál jako obvykle. Kprobes má mechanismy i pro zvládání rekurzivních funkcí, které by kretprobe využívaly.

Kprobes očividně nutí CPU často zastavovat, proto lze kernel postavit s možností `CONFIG_OPTPROBES=y`, která zajistí, že namísto přerušení se při nalezení kprobe někam prostě skočí.

Kprobes si udržují černou listinu funkcí, ve kterých Kprobes operovat nesmí. Lze ji rozšířit pomocí makra `NOKPROBE_SYMBOL()` ze souboru `linux/kprobes.h`. Hlavními členy listiny jsou funkce od samotných Kprobes.

Podobnými technologiemi ke Kprobes jsou Uprobes, které se dají použít v uživatelském prostoru, a Fprobes, které fungují podobně jako function-graph tracer, ale lze přes ně trasovat pouze vybrané funkce namísto všech.

1.2.6 Histogramy událostí

Histogramy událostí [9] jsou speciální spouštěče u událostí, které agregují vyvolání událostí a data události, pokud lze. Formát spouštěče je následující (hranaté závorky značí volitelnou část):

```
hist:keys=<field1[,field2,...]>[:values=<field1[,field2,...]>]
[:sort=<field1[,field2,...]>][:size=#entries][:pause][:continue]
[:clear][:name=histname1][:nohitcount][:<handler>.<action>]
[if <filter>]
```

Po spuštění bude v podadresáři události v trasovacím adresáři (tj. v `[trasovací adresář]/events/[název události]`) nový soubor s názvem `hist` na stejném místě jako soubory pro definice filtrů a spouštěčů pro danou událost. Pomocí spouštěčů `disable/enable_hist:<system>:<event>[:count]` lze zapínat a vypínat spouštěče histogramů. Tyto spouštěče jsou podobné spouštěčům pro zapínání a vypínání událostí. Lze tak vytvořit další pravidla vedle filtrů, která určují, kdy sbírat data pro histogramy.

Vysvětlení formátu spouštěče

Klíče a hodnoty musí být datová pole z formátu události, hodnoty musí být číselné, aby bylo možné je sčítat. Pokud nejsou hodnoty specifikovány, implicitně se použije „hitcount“ hodnota, které pouze sčítá, kolikrát trasování natrefilo na událost. Pokud zapíšeme jako klíč pole „common_stacktrace“, pak jako klíč použijeme zásobník kernelu při této události. Klíče mohou být složené (více polí dohromady, maximálně tři) či jednoduché (jedno pole), přičemž různé permutace prvků ve složeném klíči vytvářejí různé klíče. Pro vytvoření složeného klíče stačí jednotlivé části klíče oddělit čárkou. Složené klíče lze pak setřídít pomocí parametru

`sort` a specifikace až dvou polí. U dvou třídících polí pak budou prvky setříděny nejprve podle prvního klíče a pak podle druhého klíče. Sort lze použít i na hodnoty a třídit podle nich. Pokud dáme histogramu jméno přes parametr `name` a toto jméno použijeme i u jiných histogramových spouštěčů, budou vytvořené histogramy tato data sdílet. Sdílení je možné pouze tehdy, pokud jsou spouštěče kompatibilní, tj. mají stejný počet polí, pole jsou stejně nazvaná a mají stejný typ. Hodnoty oddělené čárkou pro `values` se sčítají.

Existují speciální pole, která lze použít pro klíče i hodnoty, ačkoliv nejsou součástí formátu události. Jsou jimi `common_timestamp` typu nezáporného 64-bitového celého čísla a `common_cpu` typu 32-bitového znaménkového celého čísla. První pole je časová značka, kdy byla událost zaznamenána. Druhé pole říká, na kterém CPU se událost stala.

Do spouštěče je možné dodat i další parametry a modifikátory. Parametr `nohitcount` nezobrazí hodnotu `hitcount` v histogramu. Pokud je toto použito, je nutné dodat nějakou hodnotu, která není „holý `hitcount`“, nelze tedy zobrazit `vals=hitcount:nohitcount`, ale lze zobrazit `vals=common_pid:nohitcount` nebo `vals=hitcount.percent:nohitcount`.

Modifikátor `.percent` je jedním z několika modifikátorů pro hodnoty, které se ve výchozím nastavení zobrazují jako celá čísla v desítkové soustavě. Dalšími modifikátory jsou třeba `.hex`, který zobrazí čísla v hexadecimální formě, `.log2` zobrazí dvojkový logaritmus čísla, `.execname` zobrazí PID jako jméno procesu (zde musí být hodnota z pole `common_pid`), `.stacktrace` dokáže zobrazit zásobník (zde musí hodnota být typu `long[]`) a nebo `.sym`, kdy se číslo interpretuje jako adresa nějakého symbolu.

Kromě části `if <filter>`, která funguje stejně jako u jiných spouštěčů, nám zbývá vysvětlit parametr `:handler.action`. Action je funkce, která se zavolá při přidání či aktualizaci histogramu. Handler rozhoduje, zdali má být action zavolána, nebo ne. Výchozí nastavení tohoto parametru je prostá aktualizace dat v histogramu. Pokud chceme udělat více práce, třeba vyvolání další události, pak můžeme právě tento pár nastavit sami. Na výběr máme z několika předdefinovaných handlerů a action funkcí. Handlers jsou:

- `onmatch(matching.event)` - zavolá action funkci při přidání nebo změně týkající se události „`matching.event`“ (událost lze zapsat jako `subsystem.událost`, např. `sched.sched_switch`).
- `onmax(var)` - zavolá action pokud histogramová proměnná překročí nějakou hodnotu.
- `onchange(var)` - action zavolá při změně histogramové proměnné.

Dostupné action funkce jsou:

- `trace(<název umělé události>,seznam parametrů)` - vygeneruje umělou událost, seznam parametrů pak určuje další datová pole v ní.
- `save(pole,...)` - uloží aktuální data ve specifikovaných polích události, která spouštěč vlastní.
- `snapshot()` - vytvoří snapshot trasovacího bufferu, který bude uložen do souboru `snapshot` v trasovacím adresáři.

Ačkoliv teorie nikterak nebrání všem kombinacím handlerů a action funkcí, ne všechny jsou podporované. Pokud jsou použity, spouštěč se nespustí a vrátí chybový kód `-EINVAL`.

Histogramové proměnné

Histogramy dokážou pracovat s proměnnými, místy k ukládání dat z různých procesů a spouštěčů. Vytváří se přes výraz `název_proměnné=$datové_pole` a jsou přístupné globálně nebo lokálně pro nějaký klíč. K získání hodnoty v proměnné stačí napsat `$název_proměnné`. Do proměnných lze ukládat i trasovaný zásobník, nebo číselné literály. Hodnoty se samy od sebe nemění, kromě situace, kdy je proměnná použita v nějakém aritmetickém výrazu, poté svou hodnotu zahodí, dokud není znovu nastavena. Lze vytvořit i několik proměnných, stačí je oddělit dvojtečkami v definici spouštěče. Na pozici vytvoření proměnné ve spouštěči nezáleží, tj. lze použít proměnnou a definovat ji později. Příklad chování:

```
echo 'hist:keys=pid:ts=\$timestamp' > \
/sys/kernel/tracing/events/sched/sched_waking/trigger

echo 'hist:keys=next_pid:wake_switch_lat=\$timestamp-\$ts' > \
/sys/kernel/tracing/events/sched/sched_switch/trigger
```

První příklad uloží časovou značku při události `sched_waking` do proměnné `ts`. Proměnná je viditelná všem událostem se stejným PID jako v `next_pid`. Druhý příkaz vypočítá čas mezi `sched_waking` a `sched_switch` pro daný PID, určený polem `next_pid`. Po spočítání výrazu bude proměnná `$ts` prázdná a nelze ji použít, dokud není nastavená. Tento mechanismus zajistí, že hodnota v proměnné nebude použita se staršími daty v dalších `sched_switch` událostech.

Inter-event histogramy

Takto se označují histogramy, které kombinují data z několika různých událostí. Často jsou takovými histogramy zkoumány latence, například mezi probuzením procesu a přepnutím kontextu, nicméně systém pro podporu takových histogramů je obecnější a lze kombinovat více druhů dat. Tyto histogramy pak logicky nepatří žádné z událostí, patří všem naráz. Kvůli inter-event histogramům byly vytvořeny action funkce, podpora pro vytváření umělých událostí (ty pak sdružují data z několika událostí), histogramové proměnné, pole `common_timestamp` a podpora jednoduchých aritmetických operací.

1.2.7 Další trasovací technologie

Jak kapitola ukázala výše, Linux obsahuje různé trasovací technologie. Technologie popsány výše nejsou. Technologie níže byly označeny za zajímavé, ale ne příliš relevantní ke zbytku práce. Jejich popis tedy bude krátký, vyznačující jejich záměry, některé charakteristiky a schopnosti. Pro detaily a další nástroje autor vřele doporučuje přečíst si oficiální dokumentaci kernelu.

Boot-time trasování

Trasování při bootování [10] dovoluje uživateli trasovat procesy, které se dějí například při inicializaci zařízení. Navíc plně podporuje Ftrace a jeho funkcionality. K zapnutí je nutné modifikovat nastavení bootování. Ftrace je pak také konfigurován v souboru pro boot. Při tomto trasování lze mít i více instancí Ftrace běžících naráz, tedy i víc tracerů, čímž lze získat více dat o spouštění systému, než pouze z jednoho traceru.

Uživatelské události

Tato technologie dovoluje uživatelům bez privilegovaného módu vytvářet vlastní trasovací události, které jsou zpracovatelné nástroji Ftrace i Perf [11]. Aby k této technologii byl přístup, musí být použita možnost `CONFIG_USER_EVENTS=y` při sestavování kernelu. Tracefs pak bude obsahovat další soubory pro tyto uživatelské události.

OSNOISE Tracer

OSNOISE [12] je využíván v HPC (High Performance Computing) prostředí k měření interference, kterou pocítují aplikace kvůli aktivitám uvnitř operačního systému, tedy prodlevy způsobené chováním operačního systému či chováním hardwaru. Nejprímějším příkladem v Linuxu jsou obyčejné žádosti o přerušení (IRQ), SoftIRQ, ale zdroji mohou být i přerušení vzniklá chybou hardware (NMI/Non-maskable interrupt) či jiné práce systémových vláken. OSNOISE pak aktivity, které zdržují, označuje za šum, tj. interferenci. Z tohoto označení vychází název traceru, OS (operační systém) + NOISE (šum), tj. tracer „šumu operačního systému“.

OSNOISE sám pak pracuje podobně jako hwlat_detector (Hardware Latency Detector) tracer. Periodicky spustí smyčku ve vlastním vlákně a v ní sbírá data o šumu. Narozdíl od hwlat_detector traceru nevypíná přerušení (tj. IRQ a SoftIRQ) a nechá vše běžet v preemptivním režimu - tím si zajišťuje detekci všech druhů interference. Při každém průchodu smyčkou detekuje vstupní události NMI, IRQ, SoftIRQ či plánování vláken a zvyšuje odpovídající čítače. Pokud prodleva nevznikne žádným z těchto zdrojů, zvýší se čítač hardwarového šumu. OSNOISE po ukončení smyčky zobrazí statistiky z trasování, např. nejvýraznější ze šumů nebo procentuální dostupnost CPU pro nějaké vlákno.

RV - Runtime Verification

RV [13] je mechanismus založený na trasování, který slouží k monitorování běhu systému podle předem definovaných vlastností či pravidel. Ty jsou typicky zapsány ve formě automatů. Na rozdíl od klasického trasování, kde se zaznamenávají všechny události, RV kontroluje, zda sledovaný běh odpovídá očekávanému chování. Při porušení očekávání může vyvolat událost. Používá se například pro bezpečnostní monitoring, nebo formální ověření určitých vlastností v jádře. Tato metoda je rigorózní a zároveň nenáročná pro systém.

1.3 LTTng - Linux Trace Toolkit: next generation

Projekt oddělený od Linuxového jádra, ale také zaměřený na trasování, *LTTng* [14] je kolekcí kernelových modulů, s nimiž lze trasovat kernel, a dynamických knihoven, které slouží k trasování uživatelských programů a knihoven. LTTng se snaží být alternativou k existujícím trasovacím nástrojům a jejich ekosystému. Software je ve vývoji již od roku 2005 a byl navržen pro minimální dopad na výkon ostatních procesů při svém běhu. Projekt je open-source a dodnes velmi aktivní. Podporován je několika známými distribucemi, například ArchLinux, Ubuntu či Debian.

LTTng pak pracuje jako daemon a uživatel s ním komunikuje přes jediný program s rozhraním pro terminál. LTTng dokáže trasovací data vytvářet, přičemž lze filtrovat události, které chceme zaznamenat. Program dokáže i vytvářet spouštěče a dodává i vlastní definice pro vytváření tracepointů. Trasovat lze přes síť, lokálně, paralelně (tj. lze zaznamenávat více různě nakonfigurovaných trasovacích dat naráz) a i v reálném čase. Zaznamenaná data poté představují unifikovaný log událostí, kde se mohou i míchat události z uživatelského prostoru s událostmi kernelu.

Data od LTTng pak může číst sada nástrojů *Babeltrace* nebo GUI program *TraceCompass*.

2 Vizualizace trasovacích dat

V této kapitole se zaměříme na to, proč je dobré mít vizualizátory dat a na nástroje sloužící k vizualizaci trasovacích dat. Jako vizualizátory bereme jakýkoliv typ software, který čte data a zobrazuje je přes nějaké grafické rozhraní. Mohou to být jednoduché skripty, které vytvoří soubory HTML a CSS pro zobrazení v internetovém prohlížeči, nebo samostatné aplikace s vlastními grafickými možnostmi.

2.1 Proč vizualizovat

Velmi rozšířeným typem systému je desktop. Počítač má dostatečné schopnosti na spouštění komplexnějších grafických aplikací. Spousta existujícího software toho využívá na zobrazení dat takovým způsobem, aby je lépe pochopili lidé. Ačkoliv rozhraní v terminálu je funkční a vhodné pro ostatní software, lidé více rozumí barvám, grafům a obrázkům, než pouhým seznamům a vypsaným číslům, hlavně pokud se jedná o mnoho dat. Terminál samotný má pak omezené schopnosti zobrazování grafiky, navíc ne všechny terminály jsou si rovny (např. terminály nemusí podporovat stejné barevné rozsahy). Trasovacích dat je mnoho, analyzovat v nich lze ledacos a (dobré) grafické rozhraní analýzu člověku usnadní, hlavně u dat o milionech událostí z velkých systémů.

Vizualizátory také mohou obsahovat funkcionality, které nejsou či nemohou být přítomny v nástrojích sloužících jako datový backend pro vizualizátory. Mohou to být například jednodušší rozhraní na vytváření filtrů či ukládání rozpracované analýzy, tj. například pozice v trasovacích datech a nějak vybrané události. Vizualizátory také mohou kombinovat data z více nástrojů, čímž se analýza zjednoduší, jelikož všechna potřebná data jsou na jednom místě.

2.2 HPerf

HPerf [15] je frontendová aplikace pro nástroj Perf. Perf samotný se již snaží o pěkné zobrazení dat v terminálu, HPerf jde o krok dál a z dat vytvořených od **perf record** dokáže vytvořit stránku v HTML s JavaScriptem (viz obrázek 2.1), kterou lze navíc stylově upravovat pomocí vlastních CSS pravidel. HPerf dokáže vykonat práci **perf annotate** a **perf report** a navíc přidává vlastní funkcionality, to vše v GUI, k němuž je potřeba pouze internetový prohlížeč s podporou JavaScriptu. Program má také minimální závislosti, jimiž jsou již zmíněný internetový prohlížeč, Perf, pak nástroje **objdump** a volitelně **highlight**. Na sestavení pak stačí použít buď GCC, nebo Clang, a program Make.

HPerf umí zobrazit assembly kód programu z dat a v okénku vedle i příslušnou část zdrojového kódu. Tato dvě okna jsou nezávislá. Okno se zdrojovým kódem navíc podporuje zvýrazňování syntaxe zkompilovaného jazyka.

HPerf dokáže pracovat s dlouhými trasovacími daty, ale velké binární soubory vytvoření HTML mohou zpomalit. Autor programu, Laurent Poirrier, toto vysvětluje nutností nahrát přes **Objdump** do paměti všechny assembly instrukce od všech dynamických sdílených objektů v trasovacích datech.

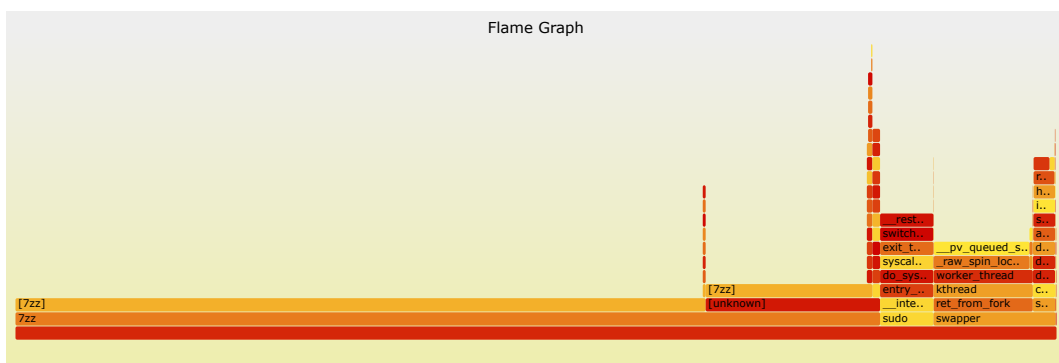
Overview Hotspots Symbols Functions Blocks Code Settings						Reload
Hotspots						
samples	%	offset	block	symbol	function	
9	42.86	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	@_start@	_start()	
Symbols						
samples	%	offset	block	symbol		
9	42.86	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	@_start@		
2	9.52	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	__rt_unlink_init		
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	_dl_lookup_symbol_x		
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	_dl_relocate_object_no_reloc		
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	search_cache		
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	init_check_word.constprop.8		
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	init_cpu_features.constprop.8		
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	12048	_dl_start		
Functions						
samples	%	offset	function			
9	42.86	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	_start()			
2	9.52	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	__rt_unlink_init()			
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	_dl_lookup_symbol_x()			
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	_dl_relocate_object_no_reloc()			
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	search_cache()			
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	init_check_word.constprop.8()			
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	init_cpu_features.constprop.8()			
1	4.76	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	_dl_start()			
DSOs						
samples	%	path	insn	blocks		
17	88.95	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	42834	1		
4	21.05	[unknown]	8	0		
0	0.00	/usr/lib64/libc.so.6	43813	0		
Memory maps						
pid	start	length	path	offset		
69478	0x00000000	0x10000	/home/d34b-w1/hperfsample	0x10000		
69478	0x7f924c727000	0x20000	/usr/lib64/ld-linux-x86-64.so.2	0x10000		
69478	0x7f924c728000	0x20000	[libc]	0x10000		
69478	0x7f924c729000	0x174000	/usr/lib64/libc.so.6	0x20000		

Obrázek 2.1 Ukázka GUI HPerf

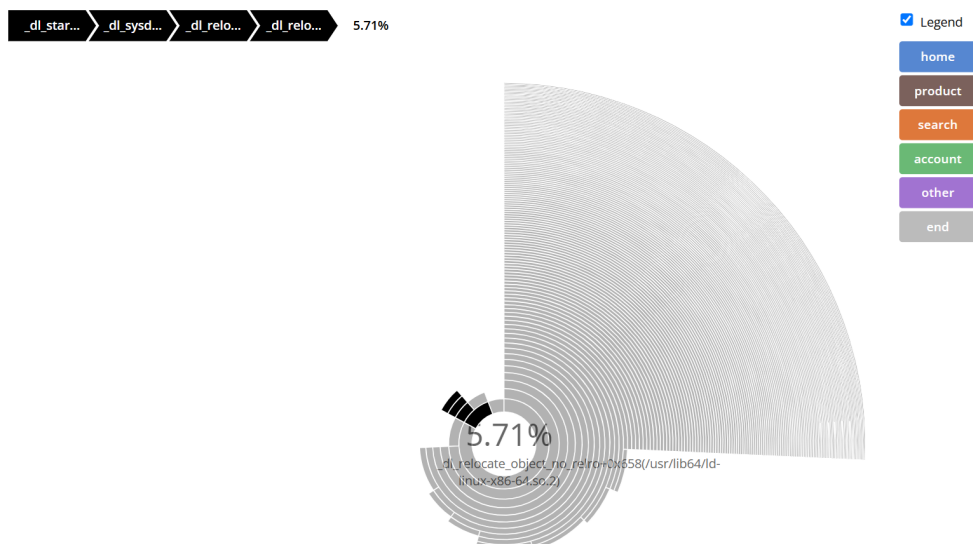
2.3 Flame Graphs

Flame Graphs [16] jsou jedním z výtvorů Brendana Gregga [17], známé osobnosti ve vizualizaci trasovacích dat, momentálně zaměstnaným ve společnosti Intel. Flame Graphs jsou grafy, které zvýrazňují hierarchická data, primárně vytvořené pro zobrazení zásobníku systému. Nejníže jsou nejširší, tedy nejvíce časté, prvky z dat, které jsou abecedně seřazeny. Ve spodní vrstvě najdeme bloky odpovídající funkcím nejčastěji se vyskytujícím v nasbíraných datech. Čím širší blok, tím častěji se tato funkce na zásobníku objevuje. Nad každým blokem jsou pak „potomci“ (funkce volané z funkce v daném bloku). Tímto způsobem graf zobrazuje hierarchii volání.

Své jméno dostaly podle jejich tvaru a původnímu výběru barev, což byly hlavně teplé barvy. Flame Graph může vypadat například jako na obrázku 2.2. Tyto grafy se dají použít, kromě zkoumání času na CPU, i na průzkum času stráveném mimo CPU (např. když je proces blokován čekáním na data, nebo při preemptivním přepnutí), analýzu alokací paměti nebo celkem nově na vizualizaci profilování na GPU či AI akcelérátoru společně s celým zásobníkem, tzv. AI Flame Graphs [18]. AI Flame Graphs mohou analyzovat výkonostní nedostatky běžící umělé inteligence a efektivně tak určit místa, kde by měly existovat optimalizace. Tím se může výrazně zlepšit spotřeba energie, pro kterou jsou umělé inteligence nechvalně známy.



Obrázek 2.2 Flame Graph pro proces programu 7Zip



Obrázek 2.3 Ukázka sunburst grafu v akci

Tato vizualizace je velmi rozšířena a existuje mnoho implementací. Některé mění barvy prvků tak, aby se ukázala příslušnost v kódu, některé vytváří „rampouchové grafy“, tj. Flame Graph otočený vzhůru nohama, s chladnými barvami. Tento typ vizualizace se pak hodí, pokud jsou zásobníky dlouhé a vrchní oblast by byla příliš řídká. Zajímavou změnou jsou „sunburst grafy“, kdy se Flame Graph transformuje do koláčového grafu, jak ukazuje obrázek 2.3, získaný s pomocí ukázkové implementace sunburst grafů [19].

Brendan Gregg nabízí i Perl program na vytváření Flame Graph vizualizací z dat Perfu nebo DTrace (trasovací nástroj od Sun Microsystems, původně pro operační systém Solaris, dnes podporuje více operačních systémů, včetně Linuxu a Windows), ale i mnoha dalších profilovacích nástrojů, pokud jsou schopny zásobník zachytit. Program extrahuje pouze data zajímavá pro něj a poté vytvoří vizualizaci. Pro tento nástroj existuje i několik možností chování, jako například vytvoření rampouchových grafů, či změna různých vlastností v SVG, jako například velikost písma, název grafu, použité barvy, nebo i přidání poznámek. Program je open-source a dostupný na GitHubu Brendana Gregga.

2.4 TraceShark

Prvním „žraločím“ nástrojem, který si představíme, je TraceShark [20]. Tento vizualizátor se zaměřuje na vizualizaci událostí plánovače úloh v kernelu, specificky na události přepínání kontextu, probuzení procesu, vytváření a zavírání procesů, frekvenci CPU a neaktivitu CPU. Tyto události musí být sesbírány buď přes Perf nebo Ftrace (či fronty pro Ftrace, jako Trace-cmd). Nástroj je open-source a stále ve fázi vývoje, seznam podporovaných událostí tedy může dále růst. Ukázku GUI lze vidět na obrázku 2.4.

TraceShark v první grafové sekci ukazuje aktivity na každém z detekovaných CPU a jejich frekvence. V další sekci na CPU grafech ukazuje pro každý procesor, které procesy na něm běžely a to pomocí různobarevných obdélníků. Zde se

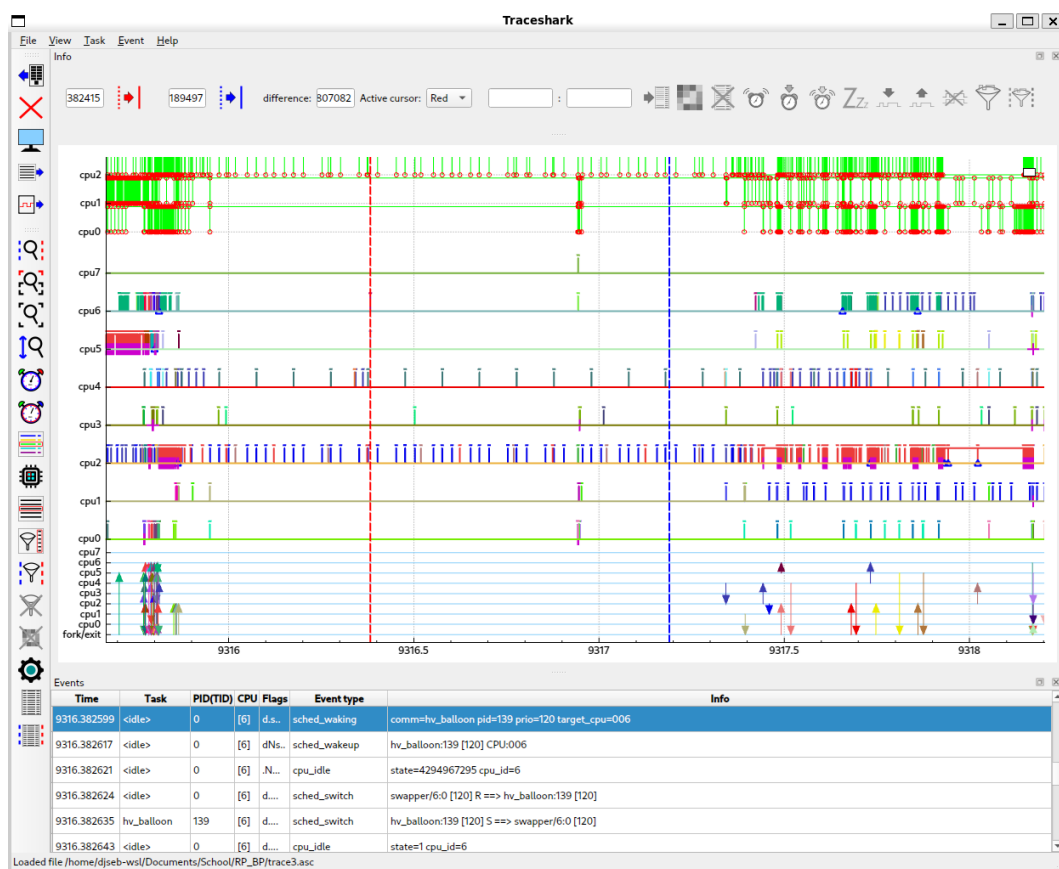
zobrazují i latence mezi označením procesu za připravený ke spuštění a opravdovým přepnutím procesoru na kontext tohoto procesu. Každá z použitých barev vyjadřuje jednu úlohu. Třetí sekce s CPU grafy pak ukazuje migrace úloh mezi procesory pomocí různobarevných šipek. Poslední sekce je vyhrazena pro grafy jednotlivých úloh, které si může uživatel sám přidat přes GUI. V grafech se dá pohybovat vpravo a vlevo rolováním kolečka myši, či, při zmáčknutí příslušného tlačítka, nahoru a dolů. Pod plochou pro grafy je i seznam událostí v trasovacích datech. Se seznamem lze interagovat, čímž se některé akce odrazí i v grafové ploše.

TraceShark dokáže pro události zobrazit jejich zásobník, filtrovat zobrazené informace podle identifikátoru vybrané události, filtrovat podle PID procesu vlastního vybranou událost a filtrovat podle CPU vybrané události. Program dokáže vytvářet snímky grafů, exportovat data ve formě vhodné pro vytváření Flame Graph vizualizací a lze i konfigurovat, které grafové sekce budou zobrazeny.

2.5 KernelShark

Tento nástroj, druhý ze „žraločích“ nástrojů, zde rozebírat nebudeme, má vlastní kapitolu 3. Nicméně jeho zmínka zde je nutná, jelikož je to další z více známých vizualizátorů, hlavně jako oficiální frontend pro Trace-cmd.

Mezi KernelSharkem a TraceSharkem neexistuje přímá spojitost, nicméně sdílí podobné rozhraní, některé cíle a podobné jméno.



Obrázek 2.4 Ukázka GUI TraceSharku

3 KernelShark

Tato kapitola pojednává o programu KernelShark, což je GUI program pro vizualizaci a analýzu trasovacích dat z programu Trace-cmd. Kapitola nejprve krátce představí jeho autory a účel. Dále se bude zabývat tím, jak používat KernelShark a jeho pluginy. Nakonec kapitola načrtne architekturu KernelSharku v modulech. Často budeme čerpat ze stránek KernelSharku [21].

3.1 O autorech

KernelShark začal být vyvíjen v roce 2009 Stevenem Rostedtem jako GUI frontend pro data z Trace-cmd. Steven Rostedt je velkým přispěvatelem do Linuxového jádra, hlavně co se týče trasování, a udržuje repozitář pro Trace-cmd, jímž je také autorem. Dnes je zaměstnancem Googlu [22], dříve ale pracoval ve známých společnostech jako Red Hat nebo VMWare. V článku představujícím KernelShark na platformě LWM [23] pak na této verzi programu ukázal analýzu plánovače úloh v reálném čase a zároveň představil funkcionality svého programu, například filtrování událostí podle procesu či plovoucí okénko s informacemi o vybrané události. KernelShark se nadále vyvíjel a k projektu se v roce 2017 (dle dat commitů v repozitáři KernelSharku [24]) oficiálně přidal Yordan Karadzhov. Vystudovaný částicový fyzik, Yordan Karadzhov se později zaměřil na vývoj softwaru a dnes pracuje u firmy Bosch jako softwarový inženýr [25] a je nejvýraznějším přispěvatelem do KernelSharku.

Projekt je open-source a přispěvatelé pak žádají vlastníky repozitáře o publikaci svých commitů. Ke dni psaní je nejnovější oficiální dostupnou verzí 2.4.0.

3.2 Instalace

Program nabízí někteří existující správci balíčků na různých distribucích, například Zypper na openSUSE nebo Apt na Ubuntu. K dispozici je také balíček pro vývoj. Program si lze i stáhnout jako tarball a instalovat jej ručně. Poslední možností je klon gitového repozitáře a ruční sestavení v něm. Správci balíčků závislosti a instalaci vyřeší za nás, proto zbytek této sekce se bude zajímat hlavně o ruční sestavení programu. (Právě ruční sestavení ze zdrojového kódu použijeme pro instalaci KernelSharku s vylepšeními z této práce, jelikož zdrojový kód KernelSharku bude modifikován.)

Předpoklady k instalaci

K sestavení je nutné mít na systém překladač pro jazyky C a C++ a sestavovací systémy Make a CMake. KernelShark je grafický program a k tomu využívá framework Qt, specificky Qt6. Dalšími grafickými nutnostmi jsou vývojové soubory pro FreeGLUT3 a vývojové soubory pro knihovny libXmu a libXi. KernelShark využívá pro některé své funkcionality soubory ve formátu JSON a je zapotřebí mít k dispozici knihovnu `libjson-c`. Potřebný je i textový font FreeSans, který může být nalezen v různých balíčcích dle distribuce (`fonts-freefont-ttf` na Ubuntu a

`gnu-free-sans-fonts` na Fedoře). Jako frontend pro `Trace-cmd` nakonec vyžaduje přítomnost tohoto programu a knihoven `libtracefs` a `libtraceevent`. Nejnovější oficiální verze také přidala jako závislost OpenMP, kterou lze ale splnit i instalací GCC verze 4.9 a výše. Zbýlými nutnými závislostmi jsou Flex a Bison. Volitelnými závislostmi jsou pak Doxygen a Graphviz, které slouží ke generování dokumentace.

Abychom byli schopni využít KernelShark naplno, je také nutné pracovat v prostředí, kde fungují Polkity. Těmi může KernelShark požádat o dočasný superuživatelský přístup pro spuštění `Trace-cmd`. Autorovi práce program fungoval perfektně v desktopovém prostředí KDE Plasma, nicméně v prostředí Qtile či při práci v Linuxovém subsystému ve Windows byly Polkity pouze napůl funkční, ačkoliv zbytek GUI fungoval bez problému. Problém byl vyřešen automatickým přijetím žádosti o zvýšení práv v pravidlech Polkitů. Tento způsob ale není doporučen, jelikož představuje bezpečnostní riziko.

Sestavení

Když máme všechny závislosti a zdrojový kód k dispozici, můžeme konečně vybudovat KernelShark. K dispozici máme z typů *Debug*, *Release*, *RelWithDebInfo* a *Package*. Poslední slouží hlavně pro vydavatele balíčků, pokud chtějí KernelShark nějak přesněji přeložit pro daný systém. S výběrem typu sestavení a volitelným vytvořením dokumentace, nám pak stačí přesunout se do `build` adresáře. Z něj pak zavoláme CMake, Make a nakonec jako superuživatel spustíme instalační skript pro GUI. Můžeme také spustit instalační skript pro vytvoření vývojových souborů. KernelShark je nyní sestaven a nainstalován. Knihovny nalezneme v podadresáři `libs` instalačního adresáře a vytvořené spustitelné binární soubory v podadresáři `bin` instalačního adresáře.

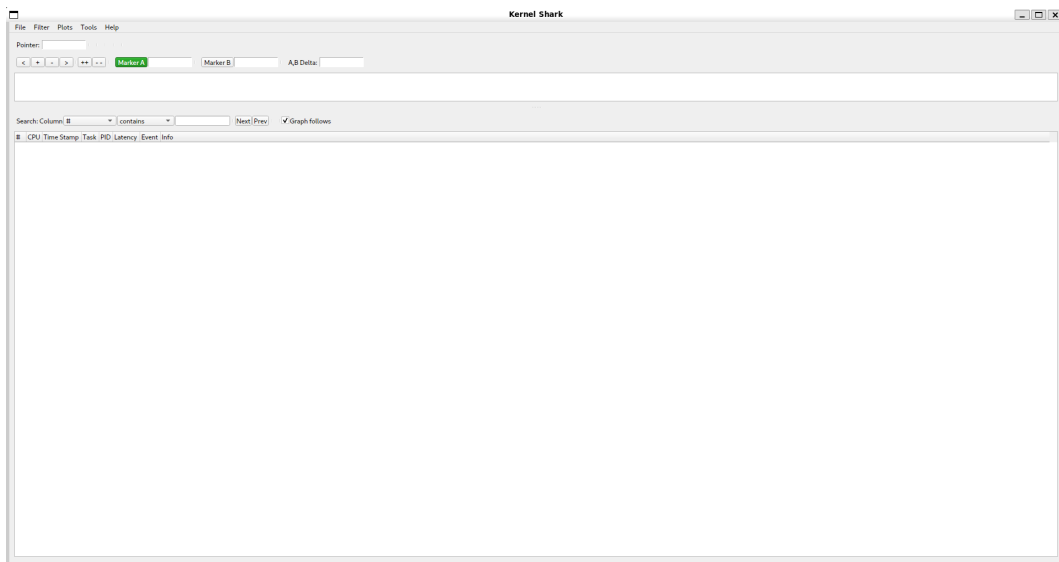
Odstranění programu

Pokud si přejeme KernelShark ze systému odstranit, jsou k dispozici skripty `cmake_clean.sh` a `cmake_uninstall.sh` v `build` adresáři.

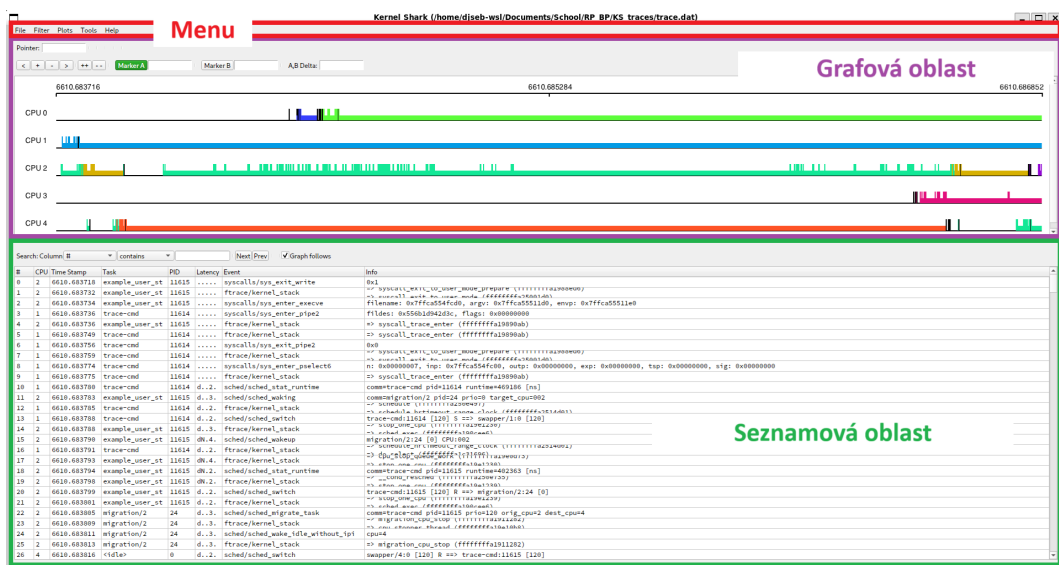
3.3 Použití

Program lze spustit přes příkazový řádek. KernelSharku lze při spouštění dodat různé argumenty, například cestu ke specifickému souboru k otevření, nebo pluginy, které se mají načíst.

KernelShark dokáže vizualizovat data z několika souborů naráz, přičemž každý vytváří vlastní datový proud, tj. *stream*, ve kterém jsou data uchována. Pokud uživatel otevře jeden stream, může pak připojovat další streamy. KernelShark zobrazí data ve vlastní skupině grafů pro tento stream a zařadí je na časovou osu, kterou případně rozšíří. Streamy není možné odebírat, jedinou možností pro odebrání streamů je buď restart KernelSharku, či otevření jednoho nového souboru s trasovacími daty. Streamy nemusí být něčím spojené, je možné i otevřít dva streamy z odlišných strojů s různými událostmi a jinými časovými stopami. Na obrázku 3.1 je čerstvě spuštěný KernelShark.



Obrázek 3.1 Čerstvě spuštěný KernelShark



Obrázek 3.2 KernelShark se zvýrazněným dělením hlavního okna

Hlavní okno

Po spuštění se zobrazí hlavní grafické okno. To je rozdělené na tři části: *menu*, *grafová oblast* a *seznamová oblast*. Části jsou zvýrazněny na obrázku 3.2, kde jsme KernelSharku dali nějaká data k zobrazení.

Menu

V menu je několik tlačítek pro práci se soubory, pro filtrování, tlačítko pro otevření dokumentace a tlačítko s různými nástroji. Zde se například zapínají a vypínají pluginy, nebo mění barvy používané KernelSharkem v grafech.

Grafová oblast

Grafová oblast obsahuje graf trasování, kontrolní řádek a informační řádek. Graf trasování se pak skládá z grafů pro jednotlivá CPU (zobrazeny jsou události jen z daného CPU) či procesy (zobrazeny jsou jen události daného procesu). Tyto grafy zobrazují události uspořádané v čase, který je reprezentován horizontální osou. Samotné grafy jsou v grafu trasování uspořádány svisle a lze použít posuvník k navigaci. V každém z grafů jsou události vyznačeny krátkými barevnými svislými čarami. Takovou čaru označuje KernelShark za *bin*. Pro velké objemy trasovacích dat se do binů seskupují záznamy událostí. Dokud jsou biny „stejně věci“ za sebou, jsou mezi nimi i, o trochu nižší, obdélníky, které souvislou práci vyznačují - výjimkou je zde „idle proces“, kdy CPU nepracuje a tyto obdélníky se nekreslí. Termínem „stejná věc“ myslíme buď stejný proces v CPU grafech, nebo stejné CPU v grafech procesů. Pro zobrazení užších časových úseků lze graf přibližovat a oddalovat.

V kontrolním řádku se zobrazují ovládací prvky pro pohyb a přibližování grafu a tlačítka s informacemi o (časových) pozicích dvou značkovacích čar, nazvaných „Marker A“ a „Marker B“. Pokud dvakrát klikneme na bin v grafu, můžeme tak jedním z markerů vyznačit danou časovou pozici a záznam, který se na ní udál. Tím se i zapíše pozice markeru. Vybranou pozici můžeme zrušit kliknutím pravého tlačítka myši s kurzorem nad tlačítkem daného markeru. Pro vybírání mezi markery A a B stačí s levým tlačítkem myši kliknout na tlačítko daného z markerů. Vedle tlačítek markerů je i informace o jejich časovém rozdílu. Pokud jsou markery aktivní, pak přibližování se bude snažit přiblížit oblast jimi vyznačenou (pokud je aktivní jen jeden, pak středem přiblížení bude událost, na kterou marker ukazuje).

V informačním řádku se zobrazuje (časová) pozice kurzoru myši a informace při najetí myši přes biny v grafu. Tyto informace jsou také v seznamu událostí.

Seznamová oblast

Seznamová oblast zobrazuje trasovací data ve formě svislého seznamu s několika sloupci:

- Pozice události v datech
- Identifikátor CPU - číselný, používá označování jako operační systém.
- Časová značka události - v sekundách, s přesností na desetiny mikrosekund.
- Název procesu
- PID procesu
- Latence - jedná se o čtyři datová pole:
 - Zdali byla vypnuta přerušování, označeno písmenem „d“, jinak znakem „.“.
 - Zdali je potřeba přepínání úloh, označeno písmenem „N“, jinak znakem „.“.

- Událost při vyřizování přerušení, písmeno „h“ značí přerušení od hardwaru, písmeno „s“ značí přerušení vyvolané kernelem či pokud je tento typ přerušení vypnutý, písmeno „H“ značí přerušení od hardwaru, kde jsou přerušení od kernelu vypnuta, nebo se hardwarové přerušení událo při obsluze vyrušení od kernelu - jiné situace jsou značeny znakem „.“.
- Čítač preempce - pokud je jiný než 0, tak kernel nepřepíná běžící úlohy, i kdyby plánovač úloh rozhodl, že je přepnutí již potřeba. Pokud je čítač nulový, zobrazí se znak „.“.

- Název události
- Dodatečné informace - data zaznamenaná v dané události.

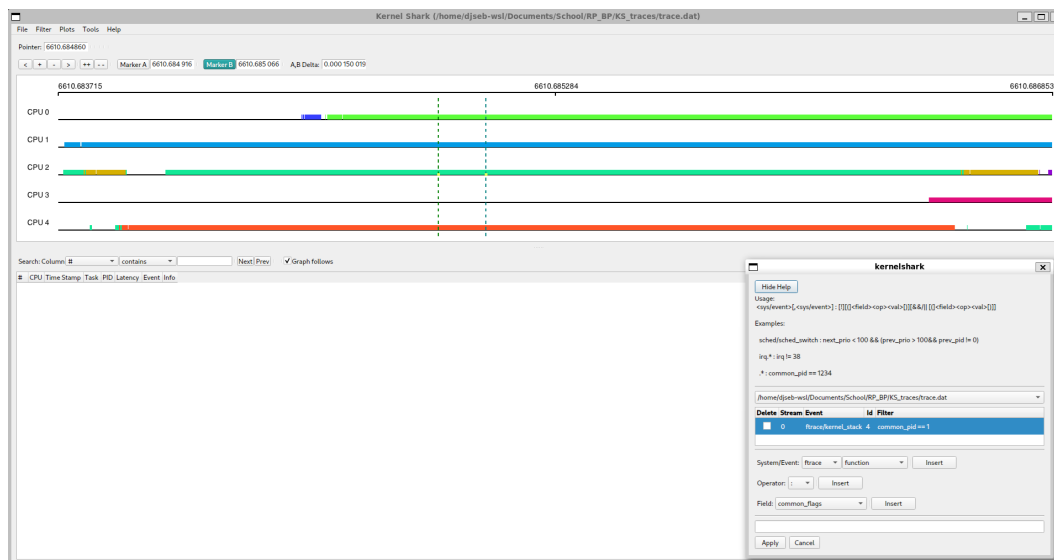
V seznamu lze vyhledávat dle informací ve sloupcích, na což má uživatel k dispozici textový vyhledávací řádek. V seznamu lze vyhledávat dopředu, či pozpátku. KernelShark podporuje jednoduchá vyhledávání typu „obsahuje“ (ve sloupci je někde vyhledávaný text), „přesná shoda“ (ve sloupci je pouze vyhledávaný text), „neobsahuje“ (ve sloupci není vyhledávaný text). Úspěšné vyhledávání v seznamu vyznačí událost splňující vyhledávací kritéria. Pokud je zaškrtnuté políčko „Graph follows“, bude tato událost vyznačena i v grafu.

Filtrování

Kvůli objemu dat získaných při trasování je často užitečné mít možnost ve vizualizaci filtrovat data, se kterými chceme při analýze pracovat. KernelShark proto dodává filtrovací nástroje - jednoduché filtry a pokročilé filtry. Jednoduché filtry filtrují podle typu události, zatímco pokročilé filtry dovolují vytvářet pokročilé filtrovací konstrukce a lze s nimi filtrovat i události dle jejich obsahu. KernelShark také dovoluje filtrovat události podle CPU nebo procesů. Pokud událost neprojde filtrem, pak není zobrazena v grafu ani v seznamu. Pokud na ni ukazoval nějaký marker, pak je vyznačen čárkovanou čarou. Jediné, co zůstane nepozměněno, jsou obdélníky mezi záznamy, které signalizují práci na CPU (v grafu CPU) nebo práci procesu (v grafu procesu).

K filtrům se lze dostat přes tlačítko **Filters** v menu. Všechny typy filtrování zobrazí uživateli dialog, přičemž filtrování podle typu události, CPU, nebo podle procesu zobrazí seznamy, kde se jednotlivé prvky k filtrování dají zaškrtnout a odškrtnout (tj. při filtrování podle CPU se zobrazí seznam CPU, při filtrování podle typu události se zobrazí seznam událostí). Speciálně filtrování podle typu události ještě seskupuje události pod subsystémy, kterým patří, čímž je vytvořen dvouúrovňový seznam.

Pokročilé filtrování má dialog komplikovanější, přítomen je krátký pomocný text s příkladem použití, seznam aktivních pokročilých filtrů, soubor z něhož KernelShark čerpá data, pak tři řádky na sestavení filtru a nakonec filtr v textové podobě, kterou může uživatel upravovat. Zmíněné tři řádky na sestavení představují zjednodušení konstrukce filtru. První dovoluje vybrat událost z událostí přítomných v souboru s daty. Na druhém řádku může uživatel vybrat z „operátorů“, lze si vybrat i čárky, závorky, speciální znaky pro regex a relační, nebo booleovské operátory. Třetí řádek zobrazuje datová pole z formátu události, která lze použít k filtrování, například pole `comm_pid`, nebo speciálně pro událost `sched_switch` pole `prev_state`. Jednoduchý příklad pokročilého filtrování je na obrázku 3.3.



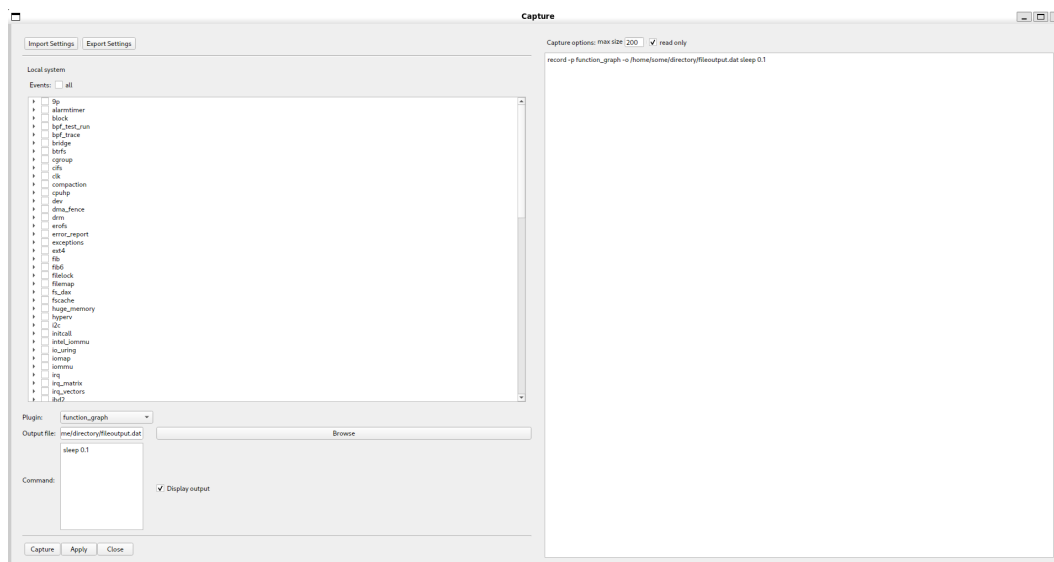
Obrázek 3.3 Aktivní pokročilý filtr - žádná událost nevyhovuje podmínkám

Relace

Při analýze si uživatel často vytvoří nějaký kontext k práci, například si vybere zajímavou oblast dat, vyznačí si nějakou událost Markerem B, načte si pluginy, nebo nějaké z nich povypíná a možná pracuje s více streamy naráz. Analýza také nemusí být záležitostí pár minut a uživatel může KernelShark vypnout během ní. Součástí KernelSharku jsou tedy i uživatelské relace, anglicky „sessions“, do kterých se právě tato data ukládají. Relace se uloží do souboru a uživatel může začít od bodu posledního uložení relace. Ukládání je prováděno ručně, nic se neukládá automaticky. Samotné soubory jsou ve formátu JSON a je možné je manuálně upravovat. Speciálně u pluginů KernelShark kontroluje jejich verzi a plugin o novější či starší verzi, než jaká je uložena, nenačte.

Trace-cmd GUI

KernelShark dovoluje uživateli sbírat data od Trace-cmd skrze GUI. Uživatel musí pouze kliknout na tlačítko **Record** v menu **Tools**. Poté program zažádá o superuživatelská oprávnění přes nějaký aktivní Polkit. Při úspěšném získání oprávnění KernelShark zobrazí nové okénko (viz obrázek „Record okénka“ 3.4). V něm je napravo plocha pro kontrolu běžícího Trace-cmd a nalevo jsou konfigurační možnosti trasování. V nich si uživatel může vybrat, které události chce zaznamenávat, jaký tracer má Trace-cmd použít, cestu k výstupnímu souboru, zdali si uživatel přeje vidět výstup a nakonec textové pole s příkazem, který spustí trasovaný proces (ve výchozím nastavení je zde pouze `sleep 0.1`). Do tohoto pole lze přidat i další argumenty pro spuštění Trace-cmd. Nakonec jsou dole v konfigurační ploše tři tlačítka. Jedním se toto okno zavře, druhým se aplikuje konfigurace a třetím se trasování spustí. Uživatel tak teoreticky s Trace-cmd vůbec nemusí pracovat v terminálu a může používat pouze KernelShark.



Obrázek 3.4 KernelShark GUI pro práci s Trace-cmd

3.4 Pluginy

KernelShark obsahuje rozhraní k vytváření pluginů, kterými pak může uživatel rozšířit chování programu, nejčastěji skrze kreslení do grafu, úpravu dat nebo sběr statistik. KernelShark dovoluje vývojářům pluginů definovat menu pro pluginy, jejich chování při načítání trasovacích dat a kreslení aktivního pluginu. Uživatel může i nemusí využít všechny tyto možnosti. KernelShark také obsahuje některé pluginy ve svojí základní instalaci, které označíme v této práci jako *oficiální pluginy*. Mezi tyto pluginy patří například plugin `sched_events`, který kreslí červené a zelené rámečky do grafů procesů. Oficiální pluginy také představují inspiraci pro vývojáře dalších pluginů.

Obecně pluginy definují kontext, tj. jejich vlastní „globální úložiště“, jejich inicializační a deinicializační funkce, a handlersy právě pro kreslení, úpravu dat při načítání, nebo handler pro vytvoření menu v GUI. Vše ostatní je pak na vývojáři pluginu. KernelShark obsahuje speciální sestavovací instrukce pro pluginy, přičemž je možné dát zdrojové soubory vlastních pluginů do adresáře se zdrojovými soubory oficiálních pluginů a upravit tyto instrukce. Pokud si ale vytvoříme sestavovací instrukce sami, KernelShark stále plugin přijme.

Pluginy pak lze přidávat ke KernelSharku za běhu programu pomocí GUI, nebo před spuštěním pomocí argumentů v CLI. Pokud jsou nahrané, pak lze i jednoduše pluginy zapínat i vypínat pomocí GUI a to pro každý stream zvlášť.

3.5 Architektura programu

Následující sekce bude autorův pokus o zachycení architektury KernelSharku. Architektura nemá vlastní dokumentaci, tato sekce tak nemůže zaručit, že architektura nastíněná zde je perfektním odrazem architektury ve vizi autorů KernelSharku. Nicméně se nám tento odhad bude hodit pro orientaci v kódu programu v této práci.

Obecně lze říci, že KernelShark je grafická aplikace, která používá klasický

přístup zachytávání událostí uživatelské interakce ve smyčce a jejich následné zpracování. Má nějaký hlavní systém a k němu jsou definována místa pro práci pluginů.

Detailnější pohled na architekturu zachytíme pomocí modulů. Nebudeme se zaměřovat na konkrétní implementace.

- *Zpracovávání dat* - zde se KernelShark zaměřuje hlavně na čtení dat a jejich abstrakce, které KernelShark používá dále. Velkým zaměřením je transformace dat z Trace-cmd do lépe vizualizovatelných dat. Právě zde nejvíce žijí streamy a záznamy KernelSharku. Součástí jsou i dotazy na data v záznamech či ve streamech.
- *Datové modely* - KernelShark pracuje s několika datovými modely podle potřeby. Základním modelem jsou prvky uspořádané dle času do binů, tj. sdružení záznamů. S tímto modelem KernelShark pracuje nejvíce a dodává k němu i API na manipulaci a dotazování, například na index (do pole všech záznamů) prvního záznamu v daném binu. Existují ale i modely vhodnější pro seznamové zobrazení událostí a model pro filtrování takových seznamů.
- *Trace-cmd GUI* - modul starající se o vše týkající se okna pro práci s Trace-cmd skrze KernelShark.
- *Hlavní okno* - zde se seskupují hlavní grafické prvky, tj. graf trasování, seznam událostí a menu programu. Toto okno také představuje hlavní navigovatelný prvek v kódu, přes který se lze dostat k dalším (veřejným) prvkům, třeba právě ke grafu trasování a jeho prvkům.
- *Kreslení v grafu* - aby bylo možné kreslit do grafu, dodává KernelShark několik definic tvarů, jejich kreslení a interakce s myší (pouze dvojité kliknutí) v tomto modulu. Tyto tvary jsou pak nejvíce využívány pluginy při vytváření tvarů vlastních.
- *Filtry* - modul se stará o vše ohledně filtrování, ať už filtrování samotné, vyhledávání správných událostí, nebo okna, se kterými uživatel pracuje při filtrování.
- *Vyhledávání* - modul se stará o vyhledávání v seznamu událostí, ale i vyhledávání uskutečněná nějakým kódem.
- *Relace* - zde najdeme „ukládací“ a „načítací“ funkce pro všechno, co KernelShark do relací ukládá.
- *Pluginy* - tento modul se stará hlavně o načítání, zapínání, inicializaci a působení pluginů (tj. kde se volají jejich handlery). Dodává i některé definice a deklarace, které mohou pluginy využít.
- *Pomocné nástroje* - modul s různými funkcemi a strukturami, kterými si KernelShark pomáhá. Patří sem definice některých vyskakovacích oken, funkce na získání užitečných dat, například všech CPU ve streamu, nebo operátory pro práci s barvami.

4 Obecná analýza a stanovení požadavků

V této kapitole se podíváme na možná vylepšení schopností KernelSharku. Vytvoříme pro ně požadavky a sepíšeme jejich cíle a nutné vlastnosti. Dále obecně analyzujeme, jak se dají vylepšení vytvořit. Krom toho si i sepíšeme nějaké vývojové zásady, například jakou verzi KernelSharku vylepšíme. Hlubší, technická analýza každého z vylepšení pak bude součástí detailnějších pohledů na návrh a implementace vylepšení v jejich samostatných kapitolách.

4.1 Jazyk dokumentace

Jistě si všimneme, že tento dokument je psán v češtině. Dokumentaci mimo tento dokument budeme psát anglicky. Důvodem je již existující anglická dokumentace KernelSharku a jeho pluginů. Jelikož se jedná o open source projekt, pak je angličtina zároveň jazykem, kterému porozumí nejspíše největší množství uživatelů vylepšení.

4.2 Pluginy a modifikace

První možnou cestou rozšíření KernelSharku je přidání pluginů, které upraví zobrazované informace, nebo nějaké přidají. KernelShark již obsahuje oficiální pluginy a je možné se jejich strukturou inspirovat. Pluginy nejsou schopné všeho, ale dokážou vykreslovat uživatelem definované tvary (s nimiž lze interagovat) do grafu, pozměňovat data záznamů událostí a přidávat nová menu tlačítka do hlavního okna. Například ale nelze skrze pluginy vytvářet další záznamy, které by se pak zobrazily v grafu.

Abychom mohli docílit všech vylepšení, tak vylepšení nebudou jen pluginy, ale i modifikace kódu KernelSharku. Přímo u zdroje je pak možné manipulovat s celým programem, nicméně na oplátku bude potřeba nerozbít to, co již funguje, zajistit podobný styl s předchozím kódem a vyznačovat místa změn, aby byla respektována licence. Obecně lze od modifikací požadovat následující:

- *Minimální vliv*, tj. vypnutá modifikace musí mít buď žádný, nebo minimální vliv na chod KernelSharku a jeho oficiálních pluginů. Pokud takový vliv má, musí být navržena tak, že se lze dostat ke starému chování.
- *Stylová podobnost*, tj. kód modifikací by měl být podobný ostatnímu kódu v KernelSharku pro zachování jednotného stylu.
- *Chovat se jako rozšíření*, tj. kód modifikací by se také měl snažit měnit existující kód co nejméně, chovat se jako rozšíření co možná nejvíce. Změny existujícího kódu musí být označeny a pokud nejsou triviální, popsány.

Od pluginů se bude obecně očekávat tento seznam:

- *Vlastní adresář*, tj. pluginy budou mít vždy vlastní adresář s vlastními instrukcemi pro sestavení, kódem a dokumentací, vše mimo adresář s KernelSharkem, jeho modifikacemi a oficiálními pluginy. Struktura repozitáře tímto požadavkem prospěje, pluginy budou lépe navigovatelné a kontrola nad sestavením a dokumentací pevnější. Samozřejmě je pak nutné napsat vlastní CMake instrukce k sestavení, ale to je přijatelná práce navíc.
- *Samostatnost*, tj. pluginy by se měly snažit být co nejsamostatnější, tj. nebýt závislé na ostatních pluginech, ať už vztahem „plugin A potřebuje k fungování plugin B“ nebo vztahem „plugin A zakazuje plugin B“. Zejména druhý ze vztahů by mohl být nepříjemný, jelikož by mohl snižovat efektivitu analýzy, některé pluginy by prostě nemohly být aktivní. První ze vztahů je mírnější, existuje hlavně pro snížení potenciálního chaosu závislostí (tzv. „dependency hell“). Žádný z pluginů v této práci nebude právě z tohoto důvodu ani cílit na to být využitelný jinými pluginy jako knihovna.

4.2.1 Označení modifikací v kódu

Licence KernelSharku, LGPL-2.1, vynucuje u provedených změn v softwaru s touto licencí jasné vyznačení změněných míst společně s datem změny. Každá změna spojená s modifikací tak bude ohraničena dvojicí komentářů:

```
//NOTE: Changed here. ([TAG]) ([DATE])
...
// END of change
```

[TAG] je zkratkovité označení po typ modifikace, se kterou změna souvisí - každá modifikace musí mít takovou značku. [DATE] je datum napsání změny ve formátu YYYY-MM-DD. Pokud změna vznikne během vývoje nějaké modifikace, ale není na ni nutně vázána (například je to pomocná funkce s širším využitím), pak stačí ohraničit [TAG] uvozovkami.

4.3 Výběr vylepšení

Následující vylepšení umožňují v KernelSharku zobrazovat dodatečné informace, které usnadňují analýzu systému při trasování. Součástí jejich popisu budou i názvy těchto vylepšení, které se použijí v dalších kapitolách. Názvy budou anglické pro zachování jednotného jazyka programu. Vylepšení jsou buď pluginy nebo modifikace zdrojového kódu KernelSharku - tato informace bude také součástí jejich popisu.

Každé vylepšení, které není dodatečné, pak shrne do bodového seznamu ve vlastní kapitole hlavní myšlenky z textu své podsektce.

4.3.1 Lepší analýza zásobníku kernelu

Identifikace problémů k vyřešení

Zaznamenávací funkcionalita KernelSharku, tzv. Record okénko, dovoluje spustit program `trace-cmd record` pro nastartování trasování běžícího systému

skrze GUI. Ačkoliv to není ihned zřejmé, tato funkcionality dovoluje uživateli dodat argumenty Trace-cmd, kterými upraví chování zaznamenávání. Pokud uživatel nezná tyto argumenty, nebude je schopen využít. Jedním z argumentů je -T, který zapne zaznamenávání kernel zásobníku do události typu ftrace/kernel_stack. Zásobník je zaznamenán po každé události, kromě události zaznamenání zásobníku.

KernelShark již umí zobrazit události typu ftrace/kernel_stack. Bere je jako každou jinou událost v trasovacích datech a tak je zobrazí jak v grafu, tak v seznamu událostí. Nicméně nás většinou nezajímá, že se nějaký zásobník trasoval, nýbrž spíš co v něm během události bylo. Z grafu toto nevyčteme, informační řádek nám nedokáže dát celou informaci, jelikož na ní nemá prostor. Seznam událostí je na tom trochu lépe, ale informace zásobníku je v textové formě víceřádková a často má řádků tolik, že většina prostoru seznamu je zabrána jen touto událostí. Celý zásobník je ovšem viditelný pouze, pokud je daná událost v seznamu vybrána, jinak se zobrazí pouze jedna řádka ze zásobníku. To nám analýzu zpomalí o vybrání zásobníkové události.

Extrakce požadavků

Zřejmě je zde co vylepšovat. Bylo by jistě příjemnější, kdyby bylo možné zobrazit obsah zásobníku přes záznam této události v grafu, nebo vidět nějakou podstatnou část v informačním řádku, namísto klikání mezi seznamem a grafem. Toto by nemělo být realizováno přes klikání na záznam samotný, jelikož takto uživatel záznamy zvýrazňuje. V tom případě by bylo vhodnější vytvořit tlačítko nad záznamy, jejichž zásobník si chceme zobrazit. To mohou být buď přímo záznamy se zásobníkem, nebo záznamy událostí po kterých byl zásobník zaznamenán. Abychom měli záznamy kde zobrazit, bylo by nejlepší vytvořit nějaké vyskakovací okénko. V tomto okénku by mohla být vedle zásobníku i další data, například po jakém typu události byl zásobník zaznamenán, nebo jakému procesu událost patřila. Přejetím kurzoru myši přes tlačítko bychom mohli donutit informační řádek k zobrazení nějaké zajímavé části zásobníku. Abychom toho byli schopni, bude nutno KernelShark dodatečně vylepšit o akce vyvolané při přejetí kurzorem myši přes objekty v grafu trasování. Také by bylo vhodné umět toto chování nějak konfigurovat, třeba nezobrazovat tlačítka nad nějakým typem události, nebo měnit barvu tlačítek. K tomu by mohlo stačit konfigurační okénko vyvolané nějakým tlačítkem v hlavním okně. Nakonec vybereme podporované události, tj. události, pro které plugin musí fungovat. Těmi budou sched_switch a sched_waking. Vybrány jsou proto, že budou podstatné i u dalších vylepšení. Tím se dá testovat izolace různých vylepšení, případně i jejich kompatibilita. Zároveň jsou často zajímavé k analýze. Sched_switch nám ukáže přepnutí z jednoho procesu na jiný. Zde lze zkoumat, proč byl proces přepnut, například zdali na něco začal čekat. Sched_waking nám pak ukazuje změnu spícího procesu na proces připravený k běhu. Tato událost a její záznam zásobníku může odhalit proč lze proces opět nechat běžet, například na co se přestalo čekat.

Co se zaznamenávání zásobníku týče, ačkoliv je možné vytvořit soubor s událostmi záznamů zásobníku, bylo by uživatelsky přívětivější, kdyby se dala tato možnost zapínat pomocí nějakého GUI prvku. Nejpřirozenějším výběrem by bylo zaškrtnuté políčko, umístěné v Record okénku KernelSharku. Obsah okénka nemá se zbytkem programu další vazby, tedy není třeba řešit další kompatibilitu.

Vylepšení Record okénka je možné pouze jako modifikace, pluginy nemají k

tomuto okénku přístup. Modifikaci budeme nazývat stručně jako *Record Kstack*. Ovšem tlačítka nad záznamy a vyskakovací okénka je možné definovat čistě v pluginu. Jelikož bude plugin zaměřen na analýzu zásobníku, bude se nazývat *Stacklook*.

4.3.2 Dělení vlastnictví událostí souvisejících se dvěma procesy

Identifikace problémů k vyřešení

Trasování ukládá mnoho různých událostí, přičemž některé jsou svázané se dvěma procesy. Tyto procesy jsou pak touto událostí spárované. Klasickým příkladem je událost `sched_switch`, tedy přepnutí se z kontextu jednoho procesu na kontext procesu jiného na stejném CPU. Trace-cmd dokáže tuto informaci uchovat, nicméně přepnutí je vyvoláno jen přepínajícím procesem. Zaznamenaná se tak jen jedna událost a to pro tento proces. KernelShark dokáže zobrazit ve svých CPU grafech tyto události v čase, dá se tedy zjistit, který proces byl přepnut do kterého na daném CPU. Nicméně tato informace není tak snadno zjistitelná v grafech procesů. Graf druhého procesu o přepnutí neví. Jediné, co ví, je, že jeho proces začal pracovat. Pouze graf procesu přepínajícího bude o události přepnutí vědět a mít ji jako svou součást.

Tento systém, ač většinou funkční, nutí procesy se dělit o informaci, která se týká obou. Informaci pak jeden z nich ztrácí ve svém procesovém grafu. To nutí i některé pluginy upravovat vlastníky událostí, aby dosáhli svých funkcionalit. To je ovšem problém - některé pluginy mohou vyžadovat jiná data, než která jim KernelShark po upravení události dokáže poskytnout. Tedy pluginy měnící vlastníky musejí být načteny buď někdy jindy, nebo jiné pluginy zakazovat. Příkladem mohou být oficiální plugin `sched_events` a další z vylepšení, *Naps*. Naps plugin bude potřebovat `sched_waking` události v grafu procesu, který je probouzen. Vedle toho `sched_events` plugin potřebuje mít `sched_switch` události v grafech procesů, na které se přepíná. Dále pak zobrazuje své tvary mezi záznamy událostí typu `sched_switch` a `sched_switch`, nebo mezi záznamy událostí `sched_waking` a `sched_switch`. Tyto dva pluginy si pak vzájemně narušují očekávaná umístění těchto dvou typů událostí a ani jeden z pluginů nefunguje správně.

Zřejmým řešením problému je pak odstranění nutnosti měnit vlastníky událostí. Například umět události rozdělit a každému z procesů dát jednu polovinu. Ale rozdělování implikuje, že by pak bylo nutné rozdělit i data z jedné události do vzniklých polovin. To ovšem není vhodné, jelikož oba procesy nejspíše budou potřebovat data celé události k efektivní analýze. Lepší bude trochu odlišný přístup. Namísto dělení události dovoluujeme druhému procesu z páru číst stejná data, ať už kopií události nebo odkazem na ní. Takto nerozdělíme událost samotnou, ale jen její vlastnictví.

Extrakce požadavků

Podívejme se, co to znamená pro KernelShark. Záznamy událostí v KernelSharku obalují události z Trace-cmd, nebo se na ně dokážou odkázat. Jelikož KernelShark používá hlavně své záznamy, bude lepší pracovat s nimi. Z architektury KernelSharku vychází, že můžeme buď přidat umělé záznamy, které se

automaticky zobrazí v grafu, nebo v grafu jenom vykreslovat objekty simulující záznam. Druhý přístup není vhodný. Simulace chování by byla zbytečně složitá na implementaci a záznamy v grafu by neodpovídaly záznamům v seznamu. Naopak první přístup jenom vytvoří umělý záznam a KernelShark se postará o zbytek. A co víc, umělé záznamy už KernelShark sám vytvářet umí během vytváření záznamů z trasovacích dat. Přístup je tedy nejen jednodušší na implementaci, ale už i používán. Vytvořené umělé záznamy by měly umět odkázat na záznam původní. Ten totiž obsahuje i původní událost a její data. Zároveň by umělé záznamy měly obsahovat data, díky kterým budou přiřazeny do správných grafů a bude možné je rozlišit od ostatních záznamů, například jménem.

S vylepšením budou muset oficiální pluginy nebo ostatní části KernelSharku umět spolupracovat. Nové záznamy by jako ostatní záznamy měly podporovat rozhraní dotazů na záznamy. KernelShark by s nimi měl také umět základně pracovat, alespoň je umět kromě zobrazení i jednoduše filtrovat. Jelikož budeme měnit chování KernelSharku, bylo by dobré umět tuto změnu chování zapínat a vypínat. Toto nastavení by mělo být uložitelné do relací. Jediný oficiální plugin, který je nutno poupravit je `sched_events`.

Výše vypsání změny ukazují, že vylepšení nelze napsat jako plugin. Pouze modifikace bude schopná přidávat další záznamy do grafu a seznamu. Modifikaci nazveme *Couplebreak*, podle jejího účelu rozdělit párovou událost mezi dva procesy.

Podporovanými událostmi budou `sched_switch` a `sched_waking`. Vybrány jsou proto, že budou podstatné i u dalších vylepšení. Tím se dá testovat izolace různých vylepšení, případně i jejich kompatibilita. Zároveň jsou to události, které pro Naps a `sched_events` představují bez *Couplebreaku* problém a dá se na nich ukázat využitelnost vylepšení.

4.3.3 Vizualizace nečinnosti procesů

Identifikace problémů k vyřešení

Procesy se při běhu na CPU často střídají. Důvodů může být několik - proces třeba čeká na otevření souboru, nebo mu prostě vypršel čas na CPU a byl preemptivně přepnut. Vizualizace nečinnosti v KernelSharku chybí, ačkoliv data jsou dostupná v trasovacích událostech. Pokud uživatel potřebuje zjistit předchozí stav procesu (stav před přepnutím), musí si jej najít a vyčíst v seznamu procesů. Pokud uživatel chce zjistit, jak dlouho byl proces nečinný, než byl probuzen, nezbývá mu než manuálně najít událost přepnutí a následnou událost probuzení - tato událost ovšem patří nějakému jinému procesu.

Extrakce požadavků

Cílem vylepšení je vizualizovat pauzu mezi přepnutím procesu (`sched_switch`) a probouzením jiným procesem (`sched_waking` procesu, který první proces probouzí). Lze se inspirovat pluginem `sched_events`, který kreslí obdélníky mezi událostmi pro něj zajímavými. Nicméně samotné obdélníky by nedokázaly nést informaci o předchozím stavu procesu, tedy nějaké barevné či textové označení bude také požadováno. Bez vylepšení *Couplebreak* bude nutné přesunout záznamy pro `sched_waking` do grafu probouzeného procesu. S vylepšením bude stačit hledat záznamy cílových událostí probouzení. Neměli bychom se snažit kreslit obdélníky

neustále. Velké množství by mohlo program zpomalovat. Mnoho záznamů na obrazovce také znamená, že budou v grafu blízko u sebe a obdélníky by pak pro sebe neměly prostor. Jelikož žádné dva systémy nejsou stejné, množství obdélníků na obrazovce by mělo být konfigurovatelné v nějakém grafickém okénku. Všechny tyto změny se dají provést v pluginu.

Jelikož se bude zajímat o dobu, kdy jsou procesy nečinné, nazveme plugin *Naps*, kdy *naps* (česky zdřímnutí) označují právě dobu nečinnosti procesu.

4.3.4 Vizualizace NUMA topologie CPU vedle grafu

Identifikace problémů k vyřešení

KernelShark se primárně zabývá vizualizací trasovacích dat. Ovšem jenom z nich nelze vyčíst vše. Máme-li mnoho procesorů, je možné optimalizovat přístupy do paměti přes NUMA model. NUMA ve zkratce znamená, že některé procesory jsou blíže nějaké paměti či pamětem než procesory jiné, což jejich přístupy zrychluje. NUMA tak vytváří nějakou topologii procesorů - CPU se seskupují do NUMA uzlů. NUMA uzly určují skupinu procesorů a pamětí, ke kterým mají tyto procesory blízko. Právě tu KernelShark nedokáže nijak zohlednit - procesory v grafu označuje pouze daty z trasování, pomocí indexů dodaných operačním systémem. Topologie ovšem ovlivňuje výkon aplikací s více komunikujícími procesy, nebo s procesy s pamětí na vzdáleném NUMA uzlu. Jak kernelový plánovač úloh, tak alokátor paměti se snaží NUMA lokalitu respektovat - zviditelněním v KernelSharku bude možné analyzovat, jak dobrá tato snaha je. Program *Hwloc* byl navržen právě pro zkoumání a vizualizaci topologií systémů využívajících NUMA technologii. Tento nástroj umí topologii systému i exportovat do souboru formátu XML a načíst data z takových výstupů. Co víc, *Hwloc* dokáže zachytit i zdali jsou některá CPU součástí jednoho jádra a jeví se jako samostatná CPU díky hyperthreadingu. Spojením schopností obou programů bychom mohli dodat KernelSharku možnost zobrazovat NUMA topologii procesorů systému a zároveň z grafu KernelSharku vyčíst, která část topologie byla více namáhána, než jiné.

Extrakce požadavků

KernelShark se zobrazováním topologií nijak nepočítá, není pro ně tedy žádná podpora. Topologie bude vytvořena pomocí programu *Hwloc*. Nutné tedy bude vytvořit/zabrat místo v hlavním okně, kde se bude vizualizace topologie zobrazovat. Toto místo by bylo dobré umět schovat, pokud bychom topologická data v daný moment nepotřebovali a vybrané místo by byl nevyužitý prostor. Topologii by bylo nejlepší zobrazit takovým způsobem, že CPU grafy by na zobrazení přirozeně navazovaly. *Hwloc* nečísluje CPU stejně jako operační systém, povolíme si tedy reorganizaci CPU grafů tak, aby byla respektována topologie. Části topologie by měly být rozlišitelné, alespoň nějakým popiskem, nebo barvou. Struktura topologie by měla být jednoduše pochopitelná, zobrazení ve stromovém stylu je zde přirozené, využívá jej i *Hwloc*. Dále budeme muset dát uživateli nějaké okénko, ve kterém si vybere soubor s topologií, kterou chce zobrazit, a zdali topologii zobrazit chce. Soubor by vybíral pro každý otevřený stream zvlášť. KernelShark nijak nevynucuje stejný trasovaný systém v otevřených streamech, proto dává smysl toto respektovat a vybírat topologie pro každý stream odděleně.

Vylepšení by také mělo být součástí ukládaných relací, už jen kvůli odstranění času stráveného hledáním souboru topologie. Nakonec, pokud systém nevyužívá NUMA technologii, pak nemusíme zobrazovat NUMA uzly a zobrazíme pouze jádra. Ta jsou vytvořena v Hwlocu i kdyby byl hyperthreading vypnutý a jedno jádro by bylo ekvivalentní jednomu CPU.

Vylepšení bude jistě modifikací, pluginy nemají schopnosti drasticky měnit GUI. Modifikaci nazveme *NUMA Topology Views*, zkratkovitě *NUMA TV*.

4.3.5 Dodatečná vylepšení

Následující odstavce v rychlosti představí vylepšení KernelSharku, na která se práce nesoustředí, ovšem jejich existence KernelShark udělá trochu příjemnějším k použití a nebo jsou užitečná ve vícero jiných vylepšeních.

Aktualizace grafického kódu

KernelShark používá Qt6 v minimální verzi 6.3.0. Nicméně Qt6 verze 6.7.0 přináší nové rozhraní pro kontrolu statusu zaškrťovacího políčka a staré rozhraní označuje při kompilaci jako zastaralé. Tato verze bude již brzy součástí hlavních Linuxových distribucí a aktualizace těchto částí kódu v KernelSharku je na místě. Dodatečným vylepšením bude modifikace kódu KernelSharku, která bude nové rozhraní využívat. Název vylepšení bude samovysvětlující *Update Cbox States*.

Objekty v grafu reagují na najetí kurzoru myši

Grafová oblast KernelSharku dovoluje uživateli dodat další tvary ke kreslení a interakci. Takové tvary jsou velmi časté u pluginů, příkladem může být `sched_events` nebo `Stacklook`. Tyto tvary mají předdefinovaná rozhraní KernelSharkem, nicméně součástí těchto rozhraní není reakce na najetí myši přes grafický objekt. KernelShark již dokáže událost najetí myši zpracovat, využívá ji při najetí na biny záznamů. Jednou uživatelskou interakcí s tvary je dvojité kliknutí myši na objekt. Cílem tohoto vylepšení je dodat grafickým objektům pro grafovou oblast možnost reagovat na najetí myši a to podobným způsobem, jako je definováno dvojité kliknutí. Název tohoto vylepšení bude *Mouse Hover Plot Objects*.

Využití barevných tabulek KernelSharku

KernelShark nedovoluje využívat barvy, které používá pro procesy, CPU a streamy. Jejich využití by ale mohlo v některých případech vylepšit organizaci informací, například `Stacklook` by mohl zabarvovat svá tlačítka barvou procesů, kterým události patří. Lze tak i v CPU grafu identifikovat vlastní proces události, jejíž záznam zásobníku si budeme chtít zobrazit. Navíc, pokud využijeme barvy, které používá KernelShark, pak se využití barvy budou měnit společně s jinou hodnotou barveného slideru, který KernelShark uživateli zpřístupňuje. Vylepšení *Get Colors* dodá KernelSharku, ve formě modifikace, dodá funkce, kterými se získají barvy momentálně využívané KernelSharkem.

Možnost měnit text v informačním řádku

KernelShark nedovoluje měnit obsah informačního řádku. Možnost jej měnit se může hodit, pokud nějaký plugin, jako například Stacklook, by chtěl zobrazit nějaké rychlé informace uživateli. Dodatečným vylepšením bude modifikace kódu KernelSharku, která možnost měnit text v informačním řádku dodá. Vylepšení dostane název *Preview Labels Changeable*.

Obdélníky mezi záznamy

KernelShark při vykreslování grafu dokresluje obdélníky mezi jednotlivé grafické reprezentace záznamů, které vyznačují aktivní proces na nějakém CPU. Tyto obdélníky jsou definovány a nakresleny během každého vykreslení na obrazovku. Ovšem ne všechny záznamy by se měly podílet na kreslení obdélníků, například záznamy zásobníku kernelu se dějí po přepnutí kontextu, kde by měl obdélník většinou skončit, a záznamy vytvořené Couplebreakem mohou chybně být začátky a konce jiných obdélníků. Vylepšení *NoBoxes* jako modifikace dodá masku viditelnosti záznamů, kterou se zakáže účast na kreslení zmíněných obdélníků, a plugin, který touto maskou označí vybrané záznamy událostí.

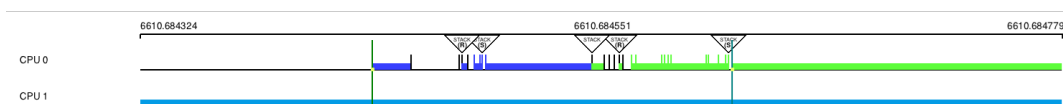
Příklad špatného zobrazování je na obrázku 4.1. Na tomto obrázku je ftrace/kernel_stack událost vyznačená velkou svislou čarou vpravo, couplebreak/sched_waking[target] je událost s velkou svislou čarou vlevo. Událost ftrace/kernel_stack vytváří velký obdélník až do konce grafu, ačkoliv se událo po přepnutí kontextu a procesor ve skutečnosti po zachycení dále nepracuje. Událost couplebreak/sched_waking[target], ačkoli neprovádí žádnou skutečnou práci na procesoru, vytváří dojem, že pracuje právě díky nakreslenému obdélníčku. V grafu CPU 1 je také velký obdélník, který začíná u události zachycení zásobníku kernelu a neměl by tedy být kreslen. Události zachycení zásobníku jsou časté a v grafu je více obdélníků spojených právě s nimi.

4.4 Ukázková data

Všechna vylepšení bude možno vyzkoušet na datech z přílohy A.1.

4.5 Verze KernelSharku

Vylepšení byla vyvíjena ve verzi 2.3.2 KernelSharku. Změny z verze 2.4.0 byly ručně přidány, ale neměly by mít vliv na funkcionalitu vylepšení.



Obrázek 4.1 Ne všechny obdélníky mezi záznamy by se měly vykreslovat, některé tvoří iluzi opravdové práce.

5 Record Kstack

Tato kapitola se bude zabývat modifikací, která dodává uživateli přímější způsob, jak zapínat trasování zásobníku kernelu přes GUI KernelSharku. Modifikace je přímá a velmi jednoduchá, kapitola je tak krátká.

5.1 Cíl

Dát KernelSharku GUI prvek, kterým se zapne/vypne trasování zásobníku kernelu při trasování přes Record okénko, tj. GUI pro Trace-cmd.

5.2 Analýza

Jelikož chceme rozšířit GUI, dává smysl se porozhlédnout v kódu KernelSharku po GUI kódu pro Record okno. Jeho kód se nachází v souborech *KsCaptureDialog.hpp/cpp* - zde tedy budeme modifikovat.

V hlavičkovém souboru najdeme třídu *KsControlCapture*, která sdružuje prvky konfiguruující zachycování. Do jejích datových členů přidáme zaškrťovací políčko. V konstruktoru pak toto políčko nezapomeneme iniciovat a nastavit výchozí stav jako nezaškrtnuté. Poté najdeme místo, kde se stavy GUI prvků interpretují na konfiguraci zachycení. Zde přibude překlad zaškrtnutého políčka na přidání argumentu `-T` k ostatním argumentům pro zachytávací program Trace-cmd. Tím bude modifikace dokončena.

5.3 Vývojová dokumentace

Modifikace používá značku `RECORD KSTACK` v ohraničeních změn. Jedinými změněnými soubory jsou *KsCaptureDialog.hpp/cpp* - v těchto souborech je přidáno zaškrťovací políčko do Record okénka KernelSharku, přidána je i inicializace tohoto políčka a význam zaškrtnutí.

Modifikace je pouze rozšíření GUI o políčko a přidání jeho sémantiky zaškrtnutí. Políčko musí být nutně v Record okénku, resp. ve třídě *KsCaptureControl*, jelikož nikde jinde nemá nastavení vliv.

5.4 Uživatelská dokumentace

5.4.1 Instalace

Stejně jako u jiných modifikací, pokud již máme instalovaný KernelShark s touto modifikací, není potřeba dělat nic. Jinak se musí KernelShark sestavit pomocí oficiálních instrukcí z kódu s touto modifikací. Tato modifikace nevyžaduje upravený soubor `CMakeLists.txt`.

5.4.2 GUI

Po otevření KernelSharku otevřeme okno Trace-cmd GUI přes tlačítko **Record**. Zde najdeme zaškrtačací políčko s popiskem „Enable kernel stack tracing“. Zaškrtnutím tohoto políčka povolíme trasování zásobníku kernelu. Poté spustíme trasování a otevřeme výsledná data v KernelSharku. Po každé události, vyjímaje události vytvořené KernelSharkem během načítání trasovacích dat, například Couplebreak události, se budou zobrazovat události ftrace/kernel_stack.

Změny v okénku lze pozorovat na následujícím obrázku 5.1. Červené obdélníky zvýrazňují místa, kde se Record okno díky modifikaci změnilo.

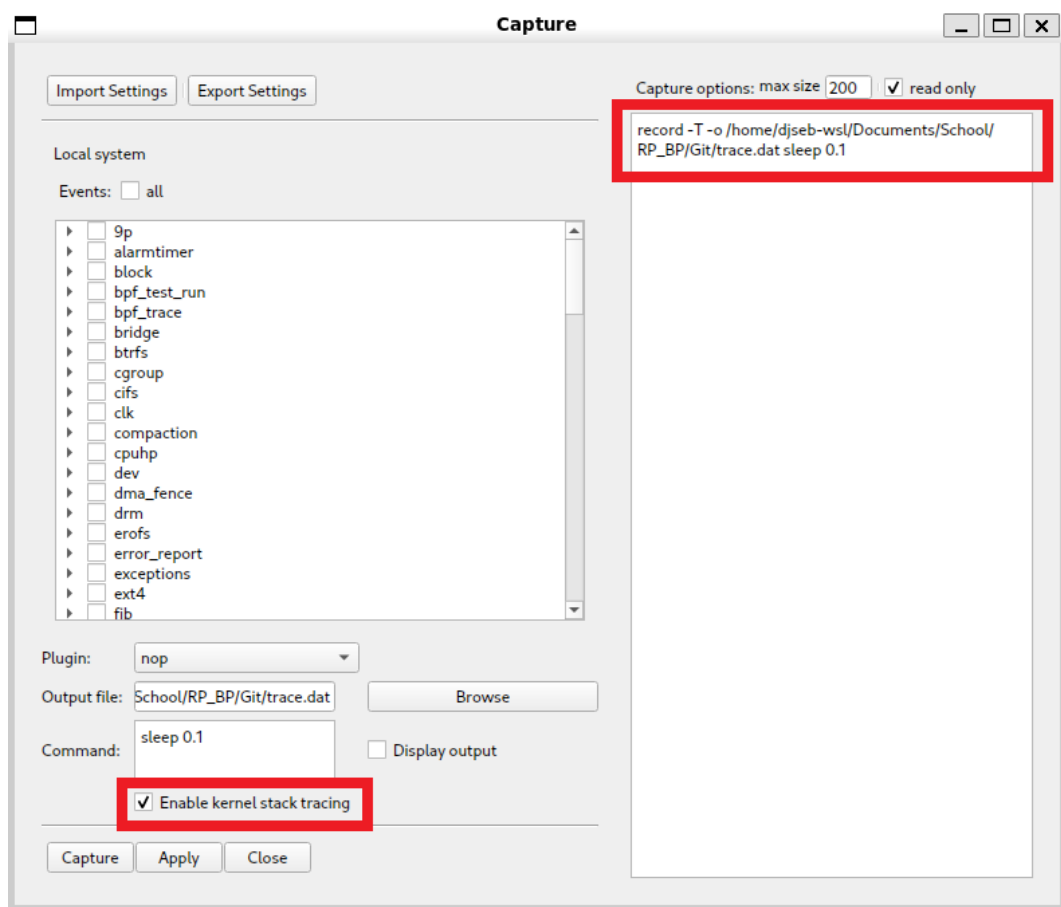
5.5 Rozšíření

Ne každá událost může mít zajímavý zásobník. Možnost zachytávat pouze po některých událostech by zde pomohla. Nicméně to je spíše rozšíření pro Trace-cmd. KernelShark by mohl umět ignorovat záznamy zásobníku jádra, pokud navazují na nějakou událost, po které nás zásobník nezajímá. Data budou stále v souboru, ale KernelShark by je nenačetl.

5.6 Zhodnocení splnění požadavků

Jediný vlastní požadavek této modifikace bylo přidání zaškrtačacího tlačítka pro jasnější zapínání sběru zásobníků kernelu. Toto bylo splněno přidáním takového tlačítka do Record okénka a připsání interpretace zaškrtnutí jako dodání argumentu Trace-cmd.

Obecné požadavky byly splněny také, GUI prvek byl přidán, kód byl rozšířen. Žádná modifikace existujícího chování se neudála. Tlačítko je ve výchozím stavu nezaškrtnuté a lze jej po zaškrtnutí odškrtnout. Tím jsou obecné požadavky splněny.



Obrázek 5.1 Zvýraznění změn modifikace Record Kstack viditelných v GUI

6 Stacklook

Tato kapitola se zabývá pluginem pro KernelShark, díky kterému bude snazší analyzovat trasovací data, kde se zachytával zásobník kernelu. V kapitole se seznámíme s cíly, analýzou řešení, návrhem a použitím tohoto pluginu. Nakonec i řešení kriticky zhodnotíme a představíme návrhy pro rozšíření.

6.1 Cíle

- Nad podporovanými záznamy bude klikatelný objekt, tj. tlačítko - po dvojitém kliknutí se zobrazí vyskakovací okénko.
- Tlačítka se budou zobrazovat nad záznamy jak v CPU grafech, tak v grafech procesů.
- Ve vyskakovacím okénku se zobrazí záznam zásobníku, název procesu, kterému událost záznamu patří, a nějaká bližší informace specifická pro událost, nad kterou bylo tlačítko zobrazeno.
- Plugin bude mít konfigurační okénko, kde bude možné některé části chování upravit. Minimální součástí musí být zapínání a vypínání kreslení tlačítek nad podporovanými záznamy, úprava barev tlačítek a nastavování maximálního počtu viditelných záznamů v grafu, po jehož překročení se tlačítka nebudou zobrazovat.
- Informační řádek bude schopen zobrazit část zásobníku při přejetí kurzoru myši přes tlačítko pluginu. V konfiguraci pluginu bude nastavitelné, která část zásobníku se zobrazí. Jelikož informační řádek nemůže být změněn přes rozhraní pluginů a grafové objekty pluginů nereagují na přejetí myši, budou toto dodatečně modifikace, resp. modifikace *Preview Labels Changeable* a *Mouse Hover Plot Objects*.
- Tlačítka mohou mít stejnou barvu jaká je přiřazena procesu, kterému záznam pod tlačítkem náleží. Získání barev procesů, CPU a streamů není v KernelSharku možné, KernelShark dovoluje barevné tabulky jenom vytvořit nanovo, které ovšem nebudou synchronizovány s tabulkami využívanými KernelSharkem. Zpřístupnění těchto tabulek bude dodatečná modifikace s názvem *Get Colors*.
- Je nutné podporovat alespoň události typu `sched_switch` a `sched_waking`.

6.2 Analýza

Tato sekce se pokusí zachytit postup, kterým se dostaneme k implementaci řešení. Jedná se o techničtější analýzu než analýza z kapitoly *Obecná analýza a stanovení požadavků*.

6.2.1 Propojení pluginu s KernelSharkem

Zamysleme se nyní nad tím, jak bychom vytvořili plugin pro KernelShark s našimi cíli. Nejlepším začátkem by bylo nechat se inspirovat oficiálními pluginy, od nich se lze naučit, jak se pluginy s KernelSharkem propojují. Oficiální pluginy definují hlavičkový soubor v jazyce C, kde se definuje kontext pluginu. Tento kontext je pak struktura s globálně přístupnými daty pro plugin. S kontextem se i deklarují kontextové funkce ovládající jeho inicializaci a destrukci přes KernelSharkem definované makro. Krom toho se zde deklarují i další globálně přístupné prvky, které nevyžadují funkcionality C++. Tento hlavičkový soubor může své části implementovat jak C kód, tak v C++ kódu. Oficiální pluginy mají v C napsanou hlavně definici kontextových funkcí, registraci handlerů pro různé události během načítání trasovacích dat, registraci handlerů na kreslení do grafu, inicializaci dat pro textový font a inicializaci ukazatelů na hlavní okno. Handlerly jsou buď implementovány v C++, nebo, hlavně u jednoduchých handlerů událostí, ještě v implementačním C souboru. Kód napsaný v C je tedy většinou použit na inicializaci pluginu a další části, většinou s komplikovanější logikou, jsou implementovány v C++.

Postup oficiálních pluginů využijeme též. Stacklook ovšem bude vyžadovat více C++ kódu. Jednotlivé soubory pak budou sloužit jednotlivým modulům Stacklooku, například modul konfigurace bude obsažen v jednom hlavičkovém souboru a přidruženém implementačním souboru. Pokud možno, hlavičkové soubory by pak měly reprezentovat každý jeden z modulů. Podobné postupy jsou často využívány, hlavně při dekompozicích souboru s kódem, který obsahuje vícero modulů najednou.

6.2.2 Analýza modulů řešení

Z našich cílů lze celkem přímo vymezit moduly, ze kterých se bude plugin skládat: *Propojující modul*, *Konfigurace*, *Tlačítka*, *Detailní pohledy*. Případné další moduly budou nejspíše navázány na jeden z těchto modulů.

Propojující modul

Propojující modul máme zčásti navržen díky oficiálním pluginům. V „C části“ (napsaná v jazyce C) nastavíme textový font používaný v pluginu, vybereme podporované události při načítání dat a registrujeme handlerly. V „C části“ zároveň inicializujeme pluginový kontext. Tato část bude mít za úkol tento kontext i správně odstranit. V „C++ části“ definujeme handlerly pro kreslení a přístup k hlavnímu oknu. Kreslicí handler bude vyžadovat funkci na vytvoření tlačítek, tedy zde se propojí tlačítkový modul. Funkce vytvoření tlačítek bude potřebovat data pro barvu tlačítek, ta je v konfiguraci, takže se zde objeví i konfigurační modul. Tento modul bude také obsahovat podporované události a bude je sbírat do dat v kontextu pluginu.

Konfigurace

Konfigurace bude rozdělená mezi GUI okno a datovou strukturu s konfiguračními daty, tzv. konfigurační objekt. Konfigurační objekt samotný implementujeme

jako singleton. Důvodem je nutnost znát konfiguraci v různých částech programu a že konfigurace musí být vždy pouze jedna, což právě singleton splňuje. Prvky z cíle o konfiguraci můžeme jednoduše uložit jako čísla, booleovské hodnoty, textové řetězce a datovou strukturu pro barvy od KernelSharku. Aby bylo možné konfiguraci měnit pouze skrze konfigurační okno, tyto prvky schováme pomocí modifikátorů viditelnosti. Konfigurační objekt pak využije C++ mechanismus „spřátelení“ přes klíčové slovo `friend` a označí konfigurační okno za svého přítele. Konfigurace pluginů KernelSharku nejsou persistentní, tak dodáme i nějaké výchozí hodnoty. Kvůli zobrazování zásobníku v informačním řádku přidáme ke každému nastavení specifickému pro událost i offset od vrchu zásobníku. Tak budeme moci stanovit oblast zásobníku, ve které se většinou nachází ty nejzajímavější části zásobníku pro danou událost.

Konfigurační okno využije framework Qt (specificky Qt6), stejně jako ostatní grafické prvky KernelSharku. Na barevná nastavení vytvoříme tlačítko, které na kliknutí vyvolá nějaké okno na výběr barvy, například výchozí barevný dialog od Qt. Pro pohodlí uživatele i někde blízko tlačítka výběru barvy zobrazíme i aktuálně použitou barvu. Nastavení maximálního počtu viditelných záznamů lze reprezentovat jako spinbox. Konfigurace pro specifické události, tj. zdali nad danými událostmi zobrazovat tlačítka a offset použitý při zobrazování části zásobníku v informačním řádku, lze reprezentovat pomocí zaškrťovacího tlačítka a dalšího spinboxu. Mimo požadavky navíc dodáme zaškrťovací tlačítko pro barvení tlačítek barvami jejich procesů.

Tlačítka

Modul tlačítek bude hlavně tvořen třídou pro tlačítka. Tlačítka by měla být v grafu jasně viditelná a ihned rozpoznatelná uživatelem. Tvar tlačítek by měl nějak ukazovat, kterému záznamu patří. Zde je několik možností a tvarů na výběr, nicméně nejjednodušším tvarem bude trojúhelník. Jeden z vrcholů bude směřovat dolů, ostatní dva vrcholy budou nad tímto vrcholem. Rozpoznatelnost těchto tlačítek nakonec zajistíme přidáním nápisu `STACK` do každého z nich. Reakci na dvojité kliknutí a přejetí kurzorem myši implementujeme jako to dělají ostatní tvary definované KernelSharkem. U přejetí využijeme naše modifikaci na reakci na přejetí kurzorem myši a modifikaci na změnu informačního řádku, přesně jak říká jeden z cílů. Speciálně pro `sched_switch` budou tlačítka ještě obsahovat jedno písmeno symbolizující předchozí stav procesu před přepnutím. Takto nebude nutné podívat se do detailního pohledu, bude stačit se dívat do grafu. Nicméně, uživatel bude muset znát zkratky pro možné předchozí stavy. Ty jsou součástí dokumentace Linuxu [26], společně s méně známým stavem „parked“ [27]. Barva tlačítek bude určena hodnotami v konfiguračním objektu. Dodáme i možnost používat barvy procesů jako barvy tlačítek, to nám zajistí modifikace `Get Colors`. Aby nemohlo více tlačítek splývat díky stejné barvě, tlačítka budou mít obrys, jehož barva bude také dána konfigurací a bude oddělená od (vnitřní) barvy tlačítka.

Detailní pohledy

Modul detailních pohledů bude hlavně obsahovat třídu pro okna těchto pohledů. V okně pak zobrazíme záznam zásobníku ve formě seznamu. Tento formát se hodí na jednoduché zvýraznění položky jedním kliknutím. Dodáme ale i možnost si data

zobrazit jako prostý text - tento formát je naopak lepší když se kopírují data po jiných částech než po položkách. Na vrchol zásobníku dodáme značku (**top**), aby bylo jasné, kde se vrch zásobníku nachází. Jeden z cílů nám ještě udává nutnost zobrazit název procesu a nějaké bližší informace o události. Pro `sched_switch` zde můžeme udat předchozí stav procesu před přepnutím, například zdali byl proces již ve stavu zombie, nebo zda začal čekat na nějaká data a nebo zda prostě běžel a byl preemptivně přepnut. Předchozí stav zapíšeme jak zkratkou, tak celým názvem (například „S - sleep“, nebo „Z - zombie“). Pro `sched_waking` pouze napíšeme, že byl proces probuzen. Nakonec se zamyslíme nad tím, jak dlouho budou okna žít a kolik jich může být najednou pro jednu událost. Naše pohledová okna můžeme vytvořit jako podřízená oknu hlavnímu, tedy pokud je ukončeno hlavní okno, budou ukončena i jeho podřízená okna. Toto zajistí Qt framework. Počet oken pro jednu událost nebudeme omezovat, nic se tím nerozbije a implementace bude jednodušší. Uživatel tak bude schopen zavřít stream, nazvěme jej A, po zavření streamu A bude schopen začít zkoumat stream jiný, nazvěme tento stream B. Okna otevřená ve streamu A zůstanou otevřená i po přepnutí do streamu B do té doby, dokud je uživatel sám nezavře, nebo dokud uživatel nezavře hlavní okno. Lze tak porovnávat zásobníky z různých běhů trasování.

Předchozí stavy

Na získání informací o předchozím stavu ještě dodáme mini-modul *Předchozí stavy*. Nutně bude muset být schopen získat data o předchozím stavu ze záznamu události přepnutí v KernelSharku. Tato data pak bude muset umět dodat jinému modulu buď jako zkratku pro typ stavu (tlačítka a detailní pohledy), nebo jako celý název (detailní pohledy).

6.2.3 Údaje v informačním řádku

Postupujme dále, podívejme se na informační řádek. Informační řádek nabízí pouze pět míst pro text. Pokud bychom museli zobrazovat konec zásobníku, nebo i prvky za koncem (například kvůli vysokému offsetu v konfiguraci), pak v informačním řádku vyznačíme, že jsme na konci zásobníku a místa, kde by byly prvky za koncem, nějak označíme, třeba mínusem. Pokud ale zobrazujeme oblast zásobníku a za ní zásobník pokračuje, označíme toto třemi tečkami v posledním místě pro text v informačním řádku. Nakonec pro jasnou identifikaci procesu, z jehož záznamu zásobníku čerpáme, bude první místo v informačním řádku obsazeno názvem tohoto procesu. Prvky v informačním řádku tedy budou vždy v následujícím pořadí:

- Název procesu
- Věc na zásobníku na offsetu X od vrcholu zásobníku, nebo -
- Věc na offsetu X+1, nebo -
- Věc na offsetu X+2, nebo -
- ..., nebo (**End of stack**)

Informační řádek bude vždy schopen zobrazit nejvýše tři prvky ze zásobníku.

6.2.4 Získání záznamů zásobníku

Nakonec se zamyslíme, jak získat data záznamů zásobníku kernelu. Tlačítka jsou nad záznamy, po kterých následuje záznam zásobníku. Tyto záznamy se vždy vytvoří na stejném CPU jako událost jim předcházející. Během načítání dat ale ještě nemáme události seřazené, ovšem při prvním kreslení už ano. Navíc neplatí, že všechny soubory trasovacích dat musí obsahovat záznamy zásobníku, lze systém trasovat i bez sbírání zásobníku. V tom případě nemá smysl, aby plugin cokoli kreslil. Do kontextu pluginu dodáme dvě proměnné, jednu jako indikátor „hledali jsme záznam trasování zásobníku kernelu“ a druhou jako „záznam trasování zásobníku existuje“, přičemž obě začnou na booleovské hodnotě „nepravda“. Při prvním kreslení prohledáme následníky všech záznamů námi podporovaných událostí. Pokud alespoň jeden záznam má za následníka záznam zásobníku, nastavíme druhou proměnnou v kontextu na „pravda“. Ukazatel na tento záznam si pak poznamenejme vedle záznamu předcházející události. Po prohledání všech podporovaných záznamů nastavíme i první proměnnou na „pravdu“. Tak si zajistíme jediný chod při hledání těchto dat. Ačkoliv prohledávání může trvat dlouho, stane se tak pouze jednou a časová cena prohledávání tak není příliš výrazná.

6.2.5 Plugin pro nemodifikovaný KernelShark

Každá část implementace využívající nějakou z našich modifikací bude obalena podmínkovým `ifndef` makrem s názvem `_UNMODIFIED_KSHARK`. Toto makro bude aktivováno pokud uživatel při sestavování tuto proměnnou definuje argumentem pro CMake, více v uživatelské dokumentaci v sekci o instalaci. Pokud je makro definováno, pak zvolí alternativní implementaci z `else` větve, která nevyužívá žádnou z modifikací; jinak kód nebude součástí kompilace.

6.3 Vývojová dokumentace

Dokumentace pluginu

Dokumentace je napsána pro nástroj Doxygen. Dokumentovala se každá funkce i proměnná, nicméně vygenerovaná dokumentace obsahuje jenom prvky veřejné, pro skutečné implementační detaily je tedy doporučeno se podívat do zdrojového kódu. Dokumentace navíc obsahuje hlavní stránku a stránku s velmi hrubým nástinem návrhu.

Struktura projektového adresáře

Adresář pluginu obsahuje další adresáře. Adresář „src“ je pro zdrojový kód a adresář „doc“ je pro dokumentaci uživatelskou a dokumentaci technickou. Očekává se, že na této úrovni jsou i adresáře pro sestavení. Na stejné úrovni žije i README, soubor s licencí a nejvyšší CMakeLists.txt. V těchto CMake instrukcích se nastaví proměnné sestavení, například typ sestavení, a případně se zavolá generování dokumentace. CMake instrukce zodpovědné za vytvoření binárního souboru jsou v adresáři se zdrojovým kódem, stejně jako to dělá KernelShark.

Struktura pluginu

Plugin rozdělíme na moduly. Pro detailnější informace a implementační detaily je doporučeno prohlédnout si samotný kód a technickou Doxygen dokumentaci pluginu.

Ke každému modulu přepíšeme i soubory, ve kterých je modul implementován, a prvky modulu jako veřejné funkce, makra, či veřejné datové struktury. Prvky mimo hlavičkové soubory, nebo prvky privátní pro třídu jsou brány jako implementační detaily a nebudou zde popsány (lze je najít uvnitř souborů modulu).

Propojující modul

Modul s kódem propojujícím KernelShark a plugin. Obsahem je hlavně kontext pluginu, funkce kontextu, handlery a implementačně pomocné funkce. Součástí tohoto modulu je část s C kódem a implementační část v C++ prvků z hlavičkového C souboru. Právě v „C++ části“ (napsaná v C++) se ostatní moduly propojují; zároveň tato část ukládá některá globální data s C++ typy.

- **Soubory:** `stacklook.h/c`, `Stacklook.cpp`
- **Datová struktura:** kontextová struktura `plugin_stacklook_ctx` s identifikátory, řídicími proměnnými a kolekcí zajímavých záznamů událostí.
- **Makra:**
 - `FONT_SIZE` - udává velikost textů vytvořených pluginem.
 - `KS_DECLARE_PLUGIN_CONTEXT_METHODS` - deklaruje generické funkce pro inicializaci, uzavření a pro získání kontextu pluginu.
- **Funkce:**
 - `get_font_ptr` - získá ukazatel na textový font.
 - `get_bold_font_ptr` - získá ukazatel na stylově tučný textový font.
 - `get_kstack_entry` - získá nejbližší záznam události záznamu zásobníku kernelu.
 - `draw_stacklook_objects` - handler pro kreslení Stacklook tlačítek.
 - `plugin_set_gui_ptr` - předá Stacklooku ukazatel na hlavní okno KernelSharku během inicializace pluginu.

Konfigurace

Modul řeší současná nastavení Stacklooku, přístupy ke konfiguračním hodnotám či jejich změny. Součástí je i vizuální stránka, tj. grafické okno konfigurace a jeho propojení s konfigurací samotnou.

- **Soubory:** `SlConfig.hpp/cpp`
- **Třídy:**
 - `SlConfig` - singleton, obsahuje konfigurační data, která plugin zrovna využívá.

- *SlConfigWindow* - GUI element, přes který lze měnit data v konfiguračním objektu.

- **Typové aliasy:**

- *allowed_t* - pro označení povolení zobrazovat nad záznamem události tlačítko. Pro nemodifikovaný Stacklook je toto zároveň jediná konfigurace Stacklooku specifická pro každou podporovanou událost.
- *event_name_t* - pro označení názvu události.
- *events_meta_t* - pro označení vazby událostí a konfigurací Stacklooku pro ně specifických.

Pro modifikovaný KernelShark ještě:

- *depth_t* - pro označení počáteční hloubky/offsetu do zásobníku.
- *event_meta_t* - pro označení konfigurace Stacklooku specifické pro nějaký plugin, která obsahuje vedle povolení zobrazovat nad záznamem události tlačítko i offset do zásobníku pro informační řádek.

Tlačítka

Modul řeší interaktivní tlačítka, která jsou vykreslována v grafu nad záznamy podporovaných událostí a jejich interakce.

- **Soubory:** *SlButton.hpp/cpp*
- **Třída:** grafický prvek *SlTriangleButton*, vykreslován do grafu trasování, dokáže reagovat na přejetí kurzorem myši a dvojité kliknutí.

Detailní pohledy

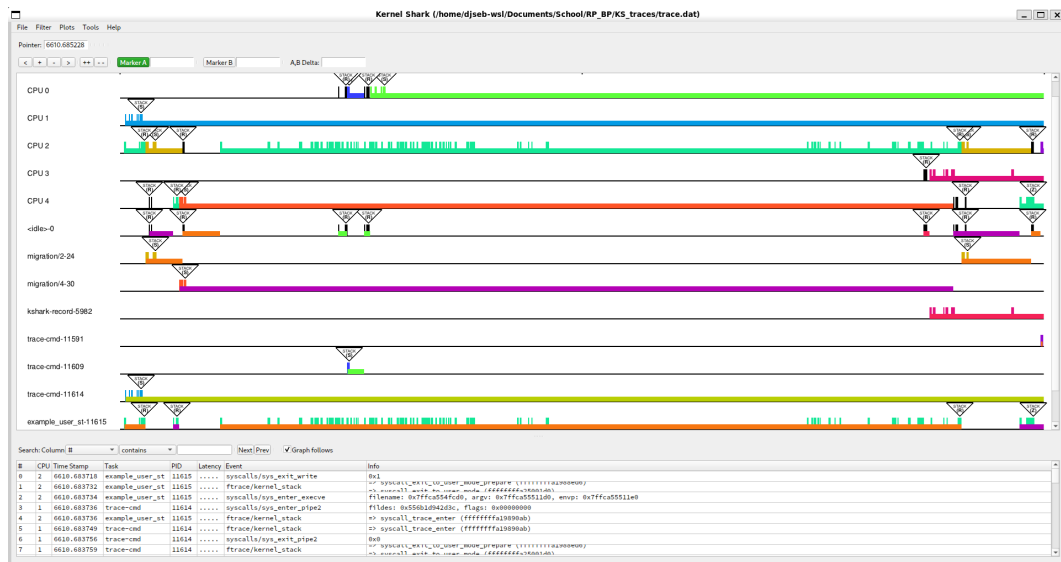
Modul řeší detailní pohledy, tj. grafická okna pro podrobnější pohled na záznam zásobníku kernelu.

- **Soubory:** *SlDetailedView.hpp/cpp*
- **Třída:** grafické okno *SlDetailedView* zobrazující zaznamenaný kernel zásobník, informace o události, která záznamu zásobníku předcházela, a informace o procesu vlastníci tuto událost.

Předchozí stavy

Mini-modul, dodává data tlačítkům a detailním pohledům o stavu procesu před přepnutím kontextu na CPU.

- **Soubory:** *SlPrevState.hpp/cpp*
- **Statická konstanta:** nová konstanta *LETTER_TO_NAME* je mapou zkratk jmen předchozích stavů na jejich celá jména.
- **Funkce:**



Obrázek 6.1 Fungující Stacklook

- *get_switch_prev_state* - vrátí zkratku jména předchozího stavu ze záznamu pro sched_switch událost.
- *get_longer_prev_state* - vrátí celé jméno předchozího stavu ze záznamu pro sched_switch událost.

6.4 Uživatelská dokumentace

Tato sekce popíše jak instalovat a používat plugin Stacklook v KernelSharku a co od něj během běhu očekávat, či na co si dát pozor. Obrázek 6.1 ukazuje fungující plugin v akci.

6.4.1 Jak sestavit a instalovat Stacklook

Předpoklady

- CMake verze alespoň 3.1.2.
- Pokud chceme plugin využívající modifikovaný KernelShark, pak je nutná verze alespoň 2.4.0-couplebreak. Pokud chceme plugin pro nemodifikovaný KernelShark, pak je nutná verze alespoň 2.3.2.
- Závislosti KernelSharku (nalezneme v README repozitáře KernelSharku), zejména Qt6.
- Doxygen na technickou dokumentaci.

Sestavení a instalace pouze pluginu

1. V terminálu nastavme pracovní adresář na složku build (pokud ještě neexistuje, pak ji nejlépe vytvořme v kořenovém adresáři projektu).

2. Spustíme příkaz `cmake ..` pro zahájení sestavení. Pokud hlavní soubor `CMakeLists.txt` není v nadřazené složce, předejme programu CMake platnou cestu k němu.

- Používáme-li verzi KernelSharku bez modifikací, přidejme do příkazu argument `-D_UNMODIFIED_KSHARK=1`. Sestavení pro nemodifikovaný KernelShark odstraňuje tyto funkce:
 - Tlačítka mohou být stejné barvy, jako procesy, jimž patří záznamy s tlačítky.
 - Přejetí kurzorem myši nad tlačítkem zobrazí část zásobníku v informačním řádku KernelSharku.
- Pokud chceme generovat dokumentaci pomocí Doxygenu, přidejme do příkazu argument `-D_DOXYGEN_DOC=1`.
- Výchozí typ sestavení je `RelWithDebInfo`. Chcete-li ho změnit (např. na `Release`), použijme argument `-DCMAKE_BUILD_TYPE=Release`.
- Pokud se hlavičkové soubory Qt6 nenacházejí v `/usr/include/qt6`, použijme argument `-D_QT6_INCLUDE_DIR=[PATH]`, kde `[PATH]` nahradíme cestou k souborům Qt6.
 - Pokyny pro sestavení předpokládají, že zadaný adresář má stejnou vnitřní strukturu jako výchozí možnost (tj. obsahuje složky `QtCore`, `QtWidgets` apod.).
- Pokud se v `../KS_fork/src` (jsme-li v kořenovém adresáři pro plugin, tj. adresáři `Stacklook`) nenachází hlavičkové soubory KernelSharku, použijme argument `-D_KS_INCLUDE_DIR=[PATH]`, kde `[PATH]` nahradíme cestou k hlavičkovým souborům KernelSharku.
- Pokud se sdílené knihovny KernelSharku (`.so` soubory) nenachází v `/usr/local/lib64`, použijme `-D_KS_SHARED_LIBS_DIR=[PATH]` argument, kde `[PATH]` nahradíme cestou k sdíleným knihovnám KernelSharku.

3. Ve složce `build` spustíme příkaz `make`.

- Pokud je třeba sestavit jen část pluginu, například pouze dokumentaci, můžeme vybrat konkrétní cíl.
- Pouhé spuštění `make` vytvoří: *plugin* (cíl `stacklook`), *symlink* na sdílený objekt pluginu (cíl `stacklook_symlink`) a případně *Doxygen dokumentaci* (cíl `docs`), pokud tak bylo specifikováno v předchozím kroku.

4. (*Instalace*): Nahrajme plugin do KernelSharku, buď přes GUI, nebo při spouštění přes CLI s argumentem `-p` a cestou k symlinku nebo přímo ke sdílenému objektu.

- *Důležité*: Vždy nainstalujeme/nahrajme plugin před načtením relace, ve které byl aktivní! Jinak může dojít k neúplnému načtení konfiguračního rozhraní nebo k pádu celého programu.

K odstranění vytvořených binárních souborů použijeme `make clean`.

Sestavení a instalace pomocí KernelSharku

1. Ujistíme se, že všechny zdrojové soubory (.c, .cpp, .h, .hpp) Stacklooku se nacházejí ve složce `src/plugins` v adresáři projektu KernelShark.
2. Zkontrolujeme, že soubor `CMakeLists.txt` v této podsložce obsahuje instrukce pro sestavení pluginu (inspirovat se můžeme podle jiných pluginů pro GUI). Pokud chceme sestavovat pro nemodifikovaný KernelShark, upravme tomu odpovídajícím způsobem sestavovací instrukce.
3. Sestavme KernelShark (pluginy se sestavují automaticky). Přes `make` lze sestavit i pouze plugin, pokud jsme již předtím vytvořili instrukce sestavení.
4. (*Instalace*): Spustíme KernelShark. Pluginy sestavené tímto způsobem se načítají automaticky. Pokud by se z nějakého důvodu nenačetly, najdeme sdílený objekt nebo symlink na něj, opět buď přes GUI, nebo přes CLI.

VAROVÁNÍ - načítání více verzí pluginu

Máme-li dvě nebo více sestavených verzí pluginu, *N*enačítáme je současně do KernelSharku. Pokud to uděláme, *dojde k pádu programu*. Používáme vždy jen jednu z verzí, *nikdy oboje najednou*.

6.4.2 Jak zapnout/vypnout Stacklook

Zapnutí pluginu je velmi jednoduché. Stačí spustit KernelShark a přejít na položku v panelu nástrojů `Tools > Manage Plotting plugins`. Pokud byl plugin načten přes příkazový řádek, zobrazí se v seznamu pluginů jako zaškrtnuté políčko se svým názvem. Pokud ne, lze plugin dohledat pomocí tlačítka `Tools > Add plugin` - stačí nalézt symlink, ale je možné vybrat i samotný soubor sdíleného objektu. Obrázek 6.2 ukazuje GUI pro zapínání a vypínání pluginů.

6.4.3 Jak používat Stacklook

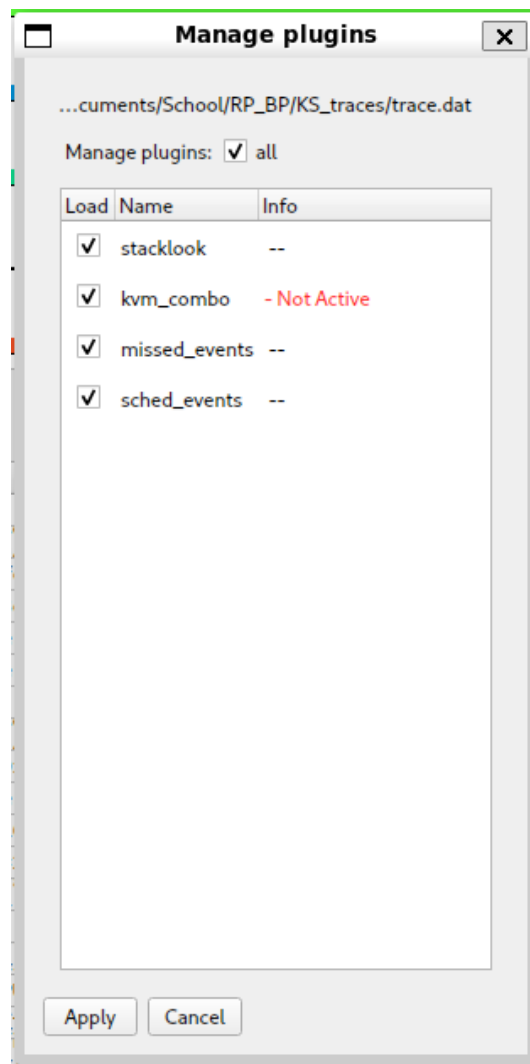
Konfigurace

Konfigurace pluginu může být provedena kdykoliv, i před načtením jakýchkoliv trasovacích dat. Pro otevření konfiguračního okna (viz obrázek 6.3) stačí v hlavním okně zvolit `Tools > Stacklook Configuration`. Vždy může být otevřeno jen jedno konfigurační okno.

Používáme-li verzi pluginu pro nemodifikovaný KernelShark, bude v konfiguračním okně chybět zaškrťovací políčko pro barvení tlačítek barvami procesů a nastavení offsetu, který je používán při zobrazování prvků zásobníku v informačním řádku.

Nyní si popíšeme jednotlivé možnosti konfigurace a jak je ovládat. Seřazeno shora dolů:

- *Limit záznamů v histogramu* - snížením této hodnoty omezíme, kdy se Stacklook aktivuje. Aktivace nastane pouze tehdy, pokud je viditelný počet záznamů menší nebo roven této hodnotě. Čím nižší číslo, tím větší přiblížení je třeba k aktivaci Stacklooku. Minimální hodnota je 0, maximální



Obrázek 6.2 Okénko se správou pluginů

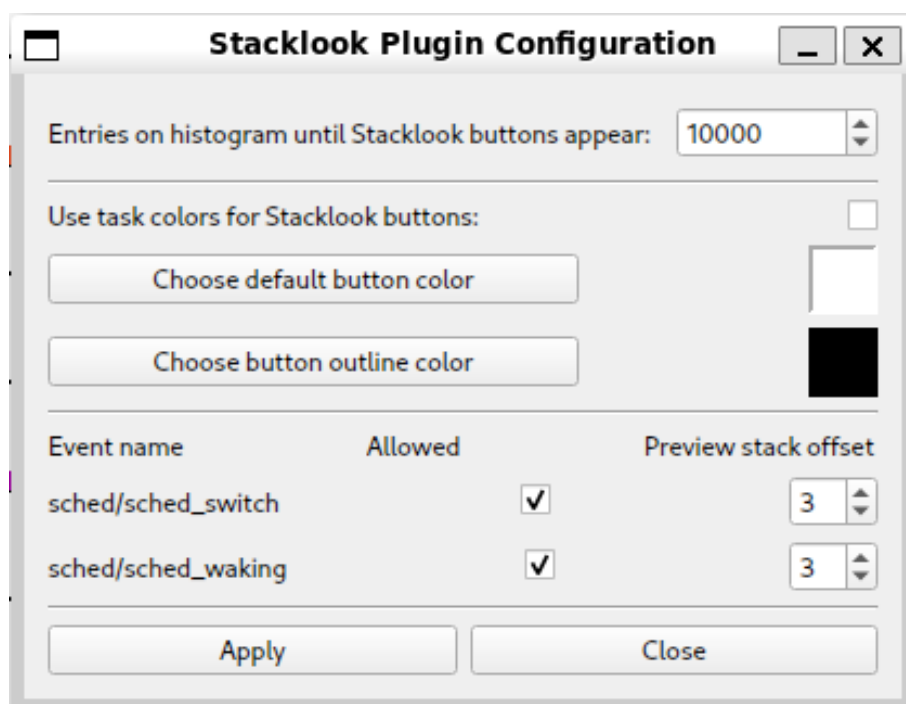
1 000 000 000 (jedna miliarda), tato horní mez však bude pravděpodobně nebude využita. Výchozí hodnota je 10 000 (deset tisíc).

- *Zda použít barvy procesů pro tlačítka Stacklooku* - zaškrtnutím tohoto políčka (pokud je k dispozici) bude výplň tlačítek Stacklooku zabarvena barvou procesu, nad jehož událostí se tlačítka zobrazují, viz obrázek 6.5. Pokud políčko necháme nezaškrtnuté, použijí se barvy v konfiguraci Stacklooku (výchozí barvy na obrázku 6.4). Tato volba je ve výchozím stavu vypnutá.
- *Barvy tlačítek Stacklooku a jejich obrysů* - tlačítka **Choose** otevřou dialog pro výběr barev, kde lze nastavit barvu výplně tlačítka nebo barvu jeho obrysu. Tato nastavení mají účinek pouze tehdy, pokud není dostupná nebo není aktivní volba barev podle procesů. Vedle tlačítek je zobrazen náhled aktuálně vybraných barev. Výchozí nastavení je bílá výplň a černý obrys. Příklad jiných barev si lze prohlédnout na obrázku 6.6.
- *Nastavení pro jednotlivé události* - Každá událost má své vlastní zaškrťovací políčko, kterým lze Stacklook zapnout nebo vypnout pro daný typ záznamu, a (pokud je k dispozici) číselník s offsetem do zásobníku kernelu, který

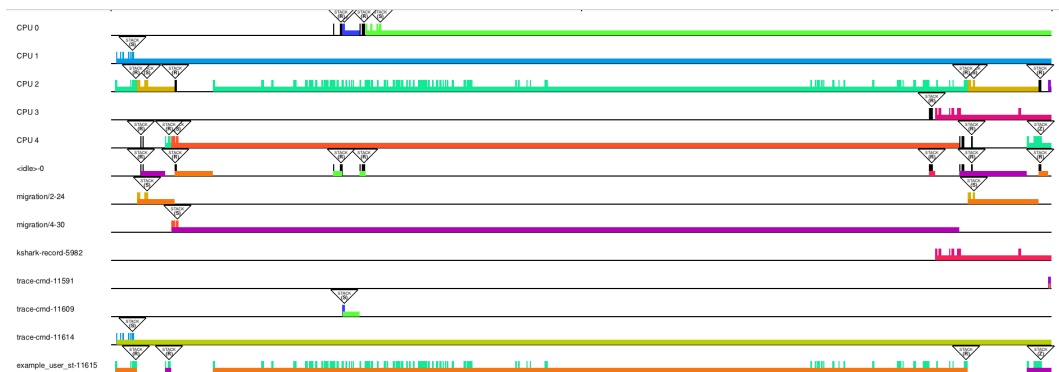
slouží k určení „nejzajímavější“ oblasti v zásobníku pro danou událost. Maximální hodnota offsetu je 100 000 000 (sto milionů), minimální 0. I zde je nepravděpodobné, že by bylo třeba využít maximální hodnotu. Ve výchozím stavu jsou všechny události povoleny (zaškrtnuty) a offset je nastaven na 3.

Tlačítko **Apply** uloží provedené změny a zavře konfigurační okno - pokud toto tlačítko nebude stisknuto, změny se neprojeví. V ovládacích prvcích konfiguračního okna se zobrazují pouze aktuálně platné hodnoty konfigurace, konfigurační okno si po zavření neaplikované změny nepamatuje. Tlačítko **Close** i tlačítko s křížkem v pravém horním rohu okna změny zahodí a okno zavřou.

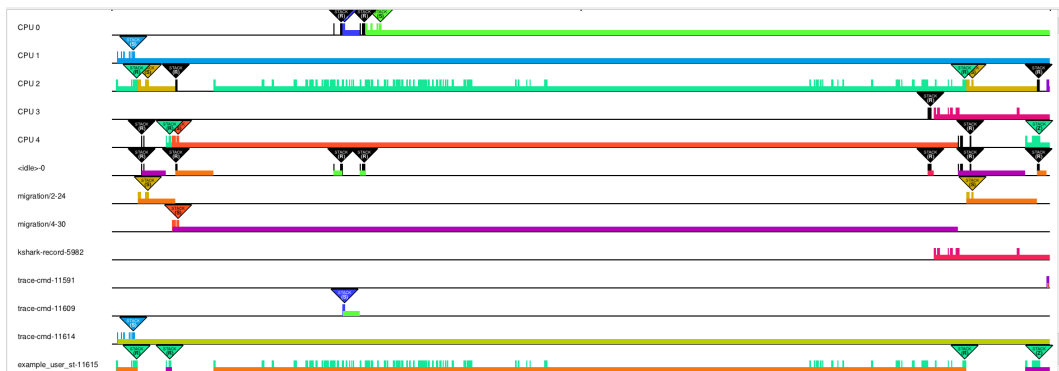
Konfigurace není persistentní. Její stav se nikam neukládá, ani do relací.



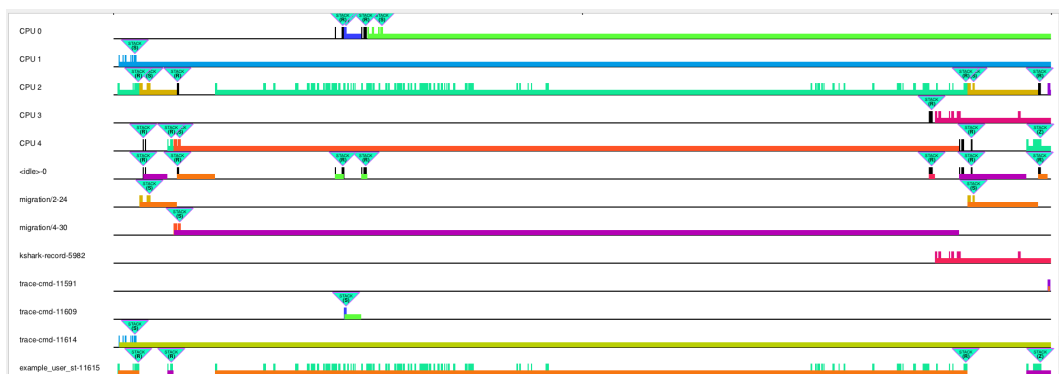
Obrázek 6.3 Konfigurační okno Stacklooku



Obrázek 6.4 Tlačítka s výchozími barvami



Obrázek 6.5 Tlačítka využívající barvy procesů



Obrázek 6.6 Tlačítka s konfigurovanými barvami

V grafu trasování

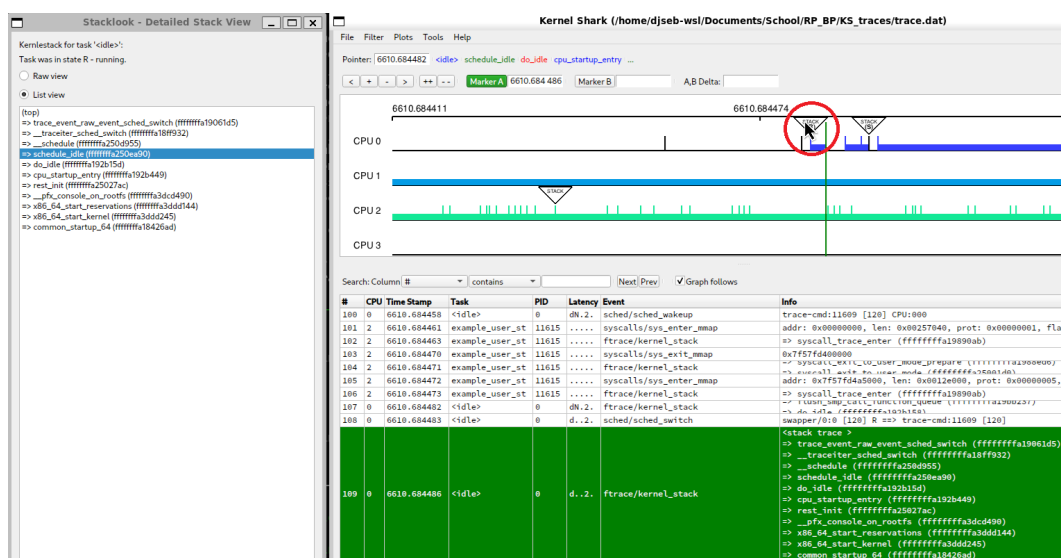
Po načtení (a případné konfiguraci) pluginu přiblížíme zobrazení tak, aby bylo viditelných záznamů v grafu méně, než je nastavený limit. Nad každým podporovaným záznamem se objeví tlačítko - buď ve výchozí barvě z konfigurace, nebo, pokud používáme upravený KernelShark a máme zapnutou příslušnou část nastavení, bude tlačítko obarveno podle procesu. Používání barev procesů plynule spolupracuje s barevným posuvníkem KernelSharku.

Plugin nezobrazí tlačítka nad nepodporovanými událostmi nebo pokud podporovaná událost nenajde záznam zásobníku, ze kterého by bylo možné čerpat data.

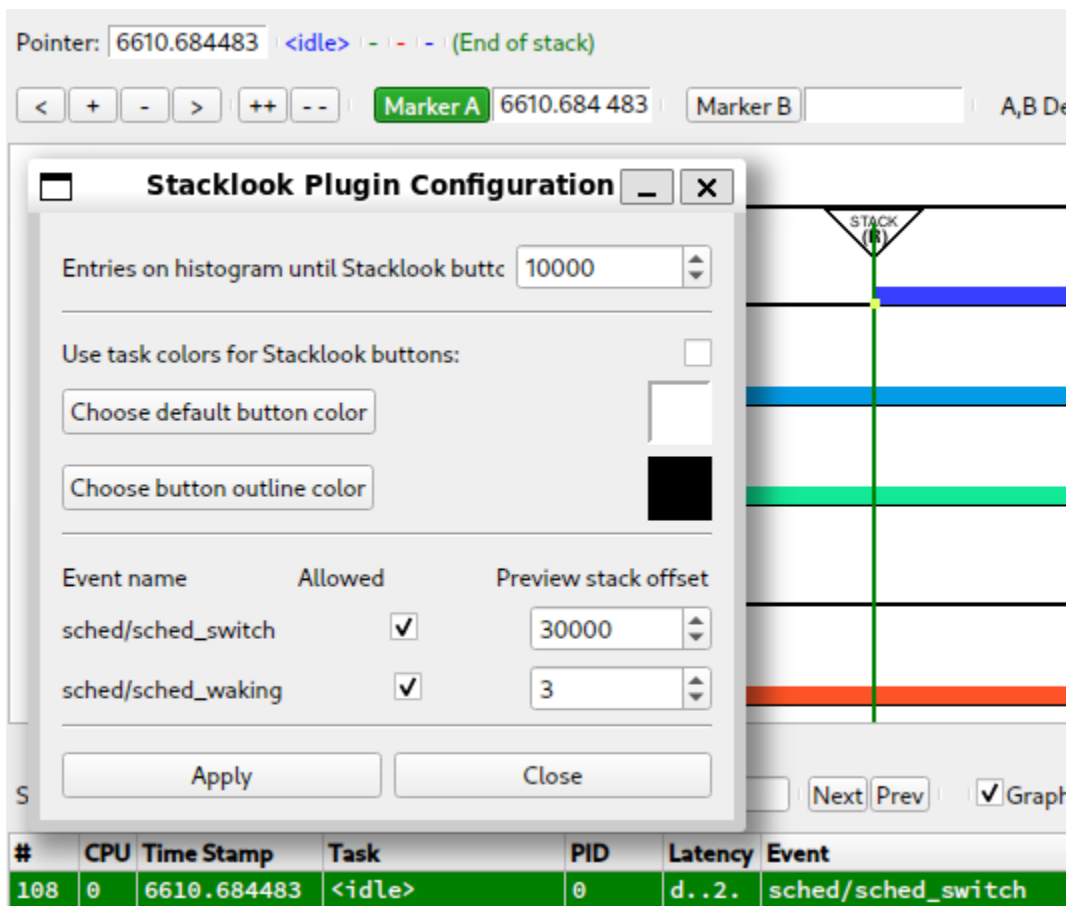
Pokud používáme modifikovaný KernelShark, přejedme kurzorem nad libovolné tlačítko a informační řádek KernelSharku. Obsah řádku se změní a zobrazí:

- Název procesu jako první (nejlevější) položku.
- Položku v zásobníku kernelu na pozici danou konfigurovaným offsetem od vrcholu zásobníku.
- Položku v zásobníku kernelu následující po první.
- Položku v zásobníku kernelu následující po druhé.
- A nakonec buď tři tečky . . . , pokud zásobník obsahuje další položky, nebo zprávu (**End of stack**), pokud už žádné další položky nezbyývají.

Pohledme na obrázek 6.7 s malou ukázkou této funkcionality. Součástí je také okno Stacklooku (o nich více níže) a záznam zásobníku kernelu v hlavním okně v seznamu všech událostí. Vše je uspořádané tak, aby bylo zřejmé, že položky v informačním řádku skutečně pocházejí ze zásobníku (použitý offset byl výchozí, tedy 3). Červený kruh zvýrazňuje záznam, nad kterým právě kurzor myši přejíždí.



Obrázek 6.7 Reakce tlačítek na přjetí kurzorem myši



Obrázek 6.8 Chování informačního řádku při velkém offsetu do zásobníku

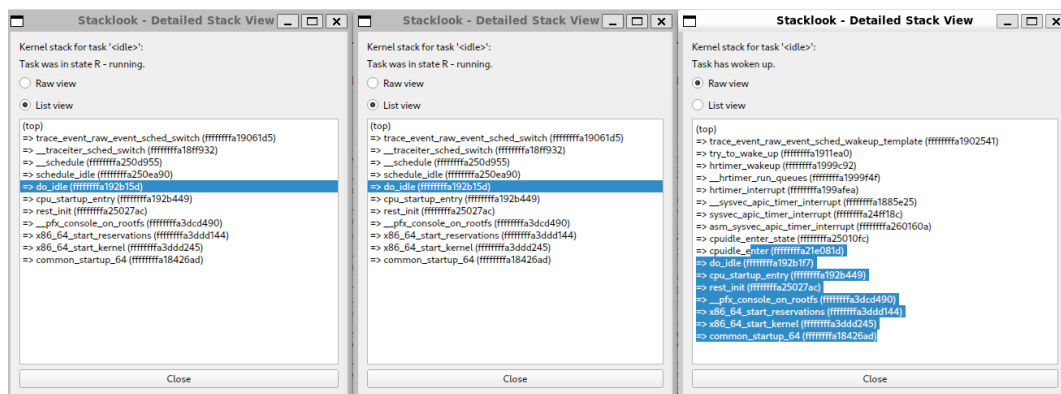
Offset lze nastavit i tak vysoko, že se v náhledu zobrazí pouze poslední jedna, dvě, nebo tři položky, případně žádná. V takovém případě Stacklook zobrazí pouze mínus a zprávu (**End of stack**) (viz obrázek 6.8).

Po dvojklíku na tlačítko Stacklooku se otevře nové okno detailního pohledu, také nazývané okno Stacklooku. Pokud čteme odshora, tak v okně nejprve vidíme, že si prohlížíme zásobník kernelu nějakého procesu. Níže je napsáno, zda byl proces probuzen (zobrazuje se pouze u událostí sched_waking) nebo o jejím předchozím stavu (pouze u událostí sched_switch). Následují dvě rádiová tlačítka a zobrazení zásobníku kernelu k dané události. Rádiová tlačítka přepínají mezi různými způsoby zobrazení zásobníku:

- Ve výchozím stavu je zobrazení ve formě surového textu, tedy zásobník je pouze řetězec s konci řádků. Toto je užitečné pro zkopírování zásobníku jako jednoho textu nebo pro zvýraznění konkrétní části položky v zásobníku.
- Alternativně lze zásobník zobrazit jako seznam, což umožňuje jednodušší a rychlejší zvýraznění jednotlivých položek (namísto dvojitého kliknutí stačí jedno).

Pro jeden záznam může být otevřeno více oken, zároveň může být otevřeno více oken pro různé záznamy, v libovolné kombinaci.

Vše popsáno výše si můžeme prohlédnout na obrázku 6.9.



Obrázek 6.9 Několik oken detailních pohledů Stacklooku

Okno lze zavřít přes tlačítko **Close** v dolní části okna, nebo pomocí tlačítka s křížkem v hlavičce okna. Všechna okna se zavřou, pokud bude zavřeno hlavní okno KernelSharku.

Pro přehled předchozích stavů, které jsou napsány v detailních pohledech pro sched_switch události, je níže jejich seznam s krátkým vysvětlením každého z nich.

- Uninterruptible (disk) sleep - proces čeká na dostupnost zdrojů a nereaguje na signály.
- Idle - pro speciální vlákno kernelu, nelze převést do stavu Running.
- Parked - pouze pro procesy kernelu, proces se dobrovolně vzdá CPU a označí se tímto stavem, aby mohl být spuštěn později.
- Running - proces běží na nějakém CPU.
- Sleeping - proces čeká na dostupnost zdrojů a reaguje na signály.
- Stopped - procesu byl zaslán STOP signál.
- Tracing stop - proces se zastavil, jelikož je právě trasován či laděn.
- Dead - přechodný stav těsně předtím, než bude proces dealokován.
- Zombie - proces skončil svou práci a čeká na uklizení rodičovským procesem.

6.4.4 Doporučení

- Vždy načteme Stacklook před načtením relace. Může to programu ušetřit nepříjemná překvapení.
- Neotvírejte příliš mnoho oken Stacklooku, pokud nechceme zbytečně zatížit paměť.
- Nedoporučuje se nastavovat příliš vysoký limit záznamů v histogramu v konfiguraci. Plugin by mohl používat příliš mnoho paměti kvůli velkému množství naráz zobrazovaných tlačítek Stacklooku.

- I když relace v KernelSharku fungují, jsou trochu nestabilní. Tento plugin se snaží jejich vnitřní logiku nenarušovat, ale varuje, že pokud plugin není načten předem, mohou nastat neočekávané problémy. Například načtení relace s aktivním pluginem nepřidá do menu **Tools** odpovídající položku pro vyvolání konfiguračního okna.

6.5 Buggy a chyby

Pokud by se tlačítka Stacklook překrývala, bude tlačítko příslušící *starší* události vykresleno nad tlačítkem pro událost *pozdější*, avšak kliknutí nebo najetí myši na překryté tlačítko použije k interakci tlačítko pro *pozdější* událost. Podle autorových znalostí jde o interní chování KernelSharku, které nelze na straně pluginu opravit.

Načtení relace KernelSharku, kde byl Stacklook aktivní, bez předchozího načtení pluginu způsobí *segmentation fault* a *pád programu* při najetí kurzoru myši na Stacklook tlačítko.

6.6 Rozšíření

Tato sekce se podívá na některá další vylepšení, která by pluginu prospěla nebo jej zjednodušila.

Více událostí

Plugin lze rozšířit o další podporované události. Hlavními místy pro tato rozšíření je pak propojující modul, kde se podporované události sbírají a do kontextu se ukládají jejich identifikátory, a mapová konstanta s hodnotami informací specifických pro typ události, která je uvnitř funkce tlačítek, jež vytváří detailní pohledy.

Persistentní konfigurace

Konfigurace pluginu není persistentní, což je nepříjemné, pokud jsme u konfigurace pluginu měnili mnoho věcí. Pokud si je chceme zachovat, musíme nechat program běžet, což bude hlavně u velkých trasovacích dat zbytečně namáhat hardware. Jistě by pomohlo, kdyby bylo možné konfiguraci pluginu ukládat do relací KernelSharku, nebo do nějakých vlastních konfiguračních souborů.

6.7 Kritika

V této sekci jsou sepsány kritiky, které napadly autora pluginu. K nim jsou buď připsány obrany a nebo přiznání, že kritika má své místo a nejspíše bylo lepší vydat se jiným směrem. Upozorňujeme, že kritika může očekávat, že její čtenář viděl implementaci řešení popsaného v této práci.

Konfigurační singleton

Použití singletonu v tomto případě dává smysl, konfigurace musí být vždy jen jedna a hodí se, když je globálně dostupná. Návrhový vzor není ovšem bez chyb. Hlavními neduhy pak jsou obtížná testovatelnost a skryté závislosti v implementaci. Návrh konfigurace se alespoň snaží zajistit, že konfigurační objekt nemůže být změněn jinak než skrze GUI. Tím zakážeme alespoň skryté změny konfigurace a lze se spolehnout na jediný zdroj změn, zmíněné GUI. To také znamená, že neexistuje jiný způsob změny konfigurace, třeba skrze kód. Není tak možné vytvořit nějaký jiný plugin, který by měnil konfiguraci Stacklooku. To není špatně a plugin počítá s tím, že na něm nebudou ostatní pluginy záviset.

Verze pluginu pro nemodifikovaný KernelShark

Je možné se dívat na tuto část pluginu jako zbytečnou práci navíc, která v kódu pluginu vytváří zmatky kvůli použití maker pro podmíněnou kompilaci. Cílem této verze byla přístupnost pluginu širší veřejnosti. Plugin, ačkoliv nekompletní, plní své hlavní funkce i pokud pár drobností není k dispozici, jako například barvení tlačítek dle barev procesů. Jistě existují uživatelé, kteří jsou ochotni vyzkoušet plugin, ale nikoliv pozměněný KernelShark, třeba už jen ze strachu bezpečnosti provedených změn. Plugin se svou verzí pro nemodifikovaný KernelShark je právě pro tyto uživatele. Tak plugin může pomoci více uživatelům - což je hlavním cílem všech vylepšení.

Špatný záznam zásobníku pro událost

Stacklook se při prvním kreslení pokusí najít záznamy zásobníků. Pokud se mu toto podaří, dá odkaz na záznam události (typu záznam zásobníku) záznamu události, která záznamu zásobníku předchází (buď typu sched_switch nebo sched_waking). Problémem je, že pokud se pro nějakou událost záznam zásobníku ztratí, nebo se posune k jinému záznamu zásobníku, pak je možné, že dvě události potom budou sdílet stejný záznam události záznamu zásobníku, přičemž jedné z nich nebude doopravdy patřit. Taková situace při testování pluginu nenastala, ale není ani nemožná (jak Trace-cmd, tak KernelShark dokážou alespoň detekovat, které události byly ztraceny - tedy mohla by se ztratit i událost záznamu zásobníku).

6.8 Zhodnocení splnění požadavků

Plugin zřejmě splňuje obecné cíle pluginů, tj. vlastní adresář s instrukcemi k sestavení a nezávislost na jiných pluginech (nikde v analýze jsme se nerozhodli použít nějaký z dalších pluginů jako závislost a ani jsme nepřišli na konflikty s jinými pluginy). V analýze jsme pak postupovali tak, abychom každý z cílů splnili. Navíc jsme nepřišli na žádné problémy při vytváření řešení. Tím jsme splnili i požadavky vlastní.

7 Couplebreak

V této kapitole se detailně seznámíme s modifikací pro KernelShark, která je schopna rozdělovat události a vytvářet pro ně dva záznamy v KernelSharku. Tímto se zdvojí některé informace, což některým pluginům dovolí obejít omezení KernelSharku a být aktivní současně. Představeny budou cíle, analýza řešení, návrh a použití tohoto vylepšení. Konečnou částí pak bude kritika, ve které modifikaci zhodnotíme, představení některých rozšíření a zhodnocení splnění požadavků.

7.1 Cíle

- Podporované události dvou procesů dají vzniknout dvěma záznamům - záznamu původní události a novému umělému záznamu této události.
- Nové záznamy budou patřit tomu procesu z páru, který předtím událost nevlastnil.
- Nové záznamy budou moci odkázat na záznam s původní událostí.
- Nové záznamy budou splňovat rozhraní *dotazů* na záznamy KernelSharku. Tj. bude možné používat `kshark_get_*` funkce jako `kshark_get_pid`, nebo `kshark_get_info`, apod.
- Nové záznamy bude možné filtrovat jednoduchým filtrem.
- Vylepšení bude možno zapnout a vypnout. Toto nastavení bude možné uložit do relací KernelSharku a načíst je z nich.
- Součástí vylepšení bude i zajištění kompatibility s pluginem `sched_events`.
- Podporovány budou alespoň události `sched_switch` a `sched_waking`.
- Modifikace bude navržena rozšiřitelně o další události.

7.2 Terminologie

- *Couple/pár* je označení pro dva procesy, které sdílí nějakou událost. Například trasovací událost `sched_waking`, kdy nějaký proces rozhodne o probuzení jiného procesu, přirozeně obsahuje dva procesy - probouzejícího a probouzeného. Páry se dají často rozdělit na procesy cílové a počáteční.
- *Couplebreak událost* je fiktivní událost vytvořená Couplebreakem. Couplebreak momentálně vytváří pouze události cílové. Modifikace toto vyznačuje v sufixu jména události jako „[target]“. Navíc každá taková událost v KernelSharku obsahuje ve svém jméně prefix „couplebreak/“, podobně jako události plánovače úloh obsahují prefix „sched/“. Couplebreak události mají speciální identifikátor začínající na hodnotě `-10 000`, které se postupně vždy o 1 snižuje.

- *Couplebreak záznam* je záznam vytvářený Couplebreakem pro Couplebreak událost. Významnou vlastností těchto záznamů je, že odkazují na záznam s událostí, kvůli které byla Couplebreak událost vytvořena.
- *Origin/počáteční proces* je proces z páru, pro který existuje nějaká událost, se kterou tento proces ovlivní druhý proces z páru.
- *Origin event/počáteční událost* je označení pro událost, která náleží počátečnímu procesu.
- *Původní událost* je událost, při které se Couplebreak aktivuje a vytvoří Couplebreak událost.
- *Target/cílový proces* je proces z páru, pro který existuje nějaká událost, která tento proces nějak ovlivní.
- *Target event/cílová událost* je označení pro událost, která náleží cílovému procesu.
- *Vlastník události* je proces, během kterého událost nastala, tj. proces, v jehož grafu se událost objeví.
- Termíny (*datový stream*, *záznam (události)*, *událost*, *relace*) jsou převzaty z terminologie KernelSharku.

7.3 Analýza

Tato sekce se pokusí zachytit postup, kterým se dostaneme k implementaci řešení. Jedná se o techničtější analýzu než analýza z kapitoly *Obecná analýza a stanovení požadavků*.

7.3.1 Vytváření umělých záznamů

Začneme s jádrem modifikace, rozdělování událostí. Musíme si rozmyslet, kde by bylo možné takovou akci provést. Z logiky fungování programu lze očekávat, že někde se musí události z Trace-cmd přetvořit na záznamy událostí pro KernelShark. Hledáme tedy funkci, která má toto na starosti. Podíváme se na cestu volání programu, když otevřeme nějaký soubor s trasovacími daty. Pak stačí postupovat hlouběji a hlouběji, dokud nenajdeme naši funkci. Ta nese název `get_records` a vytváří záznamy KernelSharku pro jeden stream. Právě zde KernelShark také vytváří umělé události pro situaci `missed_events`, tedy události, které se staly, ale nebyly při trasování zachyceny. Ty KernelShark vytváří před nějakou jinou událostí a tyto umělé události jsou pak umístěny v grafu trasování a seznamu událostí před záznamy událostí, kvůli kterým byly vytvořeny (pokud je takové zobrazení nastaveno). Navíc má KernelShark jedno hlavní pravidlo pro umělé události - jejich identifikátory musí být záporné.

Nyní víme, jak správně vytvářet záznamy pro umělé události. Ve funkci `get_records` najdeme i místo, kde můžeme vytvářet umělé události tak, že budou v grafu trasování i seznamu následovat po událostech, které způsobily jejich vznik, tj. po původních událostech. V tomto místě budeme vytvářet cílové události pro

`sched_waking` a `sched_switch`. Druhá z událostí má navíc už i speciální část ve funkci, z čehož nám plyne i jak vynucovat chování pokud se jedná o nějakou specifickou událost.

Pokračujme tedy návrhem samotných Couplebreak událostí a jejich záznamů v KernelSharku. Identifikátory Couplebreak událostí zvolíme jako negativní hodnoty začínající od -10 000 a budou růst po jedné do zápornějších hodnot (tj. budou tvořit sekvenci -10 000, -10 001, -10 002, ...). S identifikátory budou nejspíš chtít pracovat i další části KernelSharku, nebo pluginy, proto je dáme do nového hlavičkového souboru `libkshark-couplebreak.h`. Identifikátory můžeme vytvořit jako konstanty, vytvoříme je tedy jako makra s číselnou hodnotou. Záznamy dále vždy obsahují offset do souboru trasovacích dat, nicméně taková hodnota není pro umělou událost užitečná. Namísto toho splníme jeden z cílů nyní a pole `offset` bude obsahovat ukazatel na záznam původní události. Tak bude možné i odkazovat na data původních událostí. Jelikož Couplebreak rozděluje události mezi dvěma procesy, nastavíme nynějšího „nevlastníka“ původní události na vlastníka nové události. Názvy našich událostí musí být i jednoduše rozlišitelné pro člověka, všechny cílové tedy budou mít názvy ve formátu `couplebreak/{PŮVODCE}[target]`, kde `{PŮVODCE}` bude název události bez prefixu subsystému, kterému by náležela (například jenom část „`sched_switch`“ z názvu „`sched/sched_switch`“). Specificky pro události `sched_waking` budeme chtít změnit CPU, na kterém se událost stala, na CPU, kde bude proces doopravdy probuzen - details pro způsob jak toho docílíme vyřešíme později. Záznamy událostí označíme i jako plně viditelné jak v seznamu událostí, tak v grafu trasování. Ostatní informace můžeme zkopírovat z původní události, jelikož Couplebreak události nevyžadují další rozdíly. Druhá podporovaná událost, `sched_switch`, navíc nemá nic, co by bylo zajímavé, pokud by to bylo od původní události oddělené.

Víme kde vytvářet události a co v nich má být. Vyřešíme tedy jak je budeme vytvářet. Abychom mohli jednoduše rozšiřovat Couplebreak o další události v budoucnu, inspirováme se tím, jak pluginy kreslí do grafů - v `get_records` bude funkce, která přijímá konstruktory (specifikované signatury) a data, která se při vytváření využijí. Pak nám bude stačit vytvořit funkce specifikované signatury a předat jim data pro tvorbu záznamů událostí. Později lze definovat funkce pro další podporované události, pokud budeme nějaké nové přidávat.

Vytváření je skoro u konce. Vyřešíme už jen to, jak nastavit správná CPU pro události `sched_waking[target]`. Funkce, které volají `get_records`, po práci této funkce setřídí vytvořené záznamy do jednoho pole, kde je vše uspořádáno podle času. Tímto se inspirováme a vytvoříme setříděné pole, ve kterém následně najdeme správné CPU. Pole je nám poté k ničemu a zahodíme jej. Můžeme se zeptat, zdali nemáme nějaké dostupnější informace pro opravu CPU - odpověď je bohužel negativní. Události `sched_waking` sice obsahují pole `target_cpu`, ale to je pouze návrh. Operační systém a systémový plánovač úloh se můžou rozhodnout migrovat proces na nějaké jiné CPU a spustit ho až tam. Informaci o CPU, kde bude probouzená úloha opravdu spuštěna, je v události `sched_switch`, která přepíná kontext nějakého CPU na probouzený proces. Informace je tedy vázána na víc než na původní návrh a pro její správnost je nutné prohledat události budoucí od původní `sched_waking`.

7.3.2 Stav Couplebreaku

Couplebreak události je možné vytvářet, ovšem zatím se tomu tak děje vždy. To není v souladu s obecným požadavkem minimálního vlivu. Proto do datové struktury každého streamu přidáme proměnnou, která bude indikovat, zdali je Couplebreak ve streamu aktivní/zapnutý, či nikoliv. Zároveň si do streamu přidáme i počítadlo vytvořených typů Couplebreak událostí ve streamu a bitmasku, ve které budeme zaznamenávat, které Couplebreak události byly pro stream vytvořeny. Bitmasku implementujeme jako typ `int`, čímž získáme 32 bitů k použití (zatím nám ale stačí pouze dva). Bitmasku i počítadlo upravíme vždy pouze při prvním vytvoření Couplebreak události a nebo při inicializacích streamů (inicializujeme obě proměnné na výchozí hodnoty). Do funkce `get_records` přidáme kontrolu, zda je Couplebreak aktivní. Pokud ano, budeme vytvářet Couplebreak události. Počet událostí a bitmasku budeme v této funkci vždy znovu inicializovat, jelikož spuštění této funkce značí nová data. Výchozí hodnoty všech nových proměnných jsou 0, pro indikátor to znamená `false`.

7.3.3 Úprava rozhraní datových streamů

Aby se záznamy Couplebreak událostí mohly chovat jako obyčejné události, musíme dotazy na ně ošetřit v implementacích funkcí API streamu. Implementace očekávají možné vlastní umělé události, jako `missed_events` události, takže i nastiňuje, kde by měl být kód, který řeší takové události. Tím se můžeme inspirovat. Rozhraní obsahuje několik funkcí, my si je dáme do seznamu a u každé si zapíšeme, zdali je něco potřeba měnit. Funkce mimo seznam nebyly pozměněny.

- Získání PID ze záznamu pro Couplebreak záznam zrekonstruuje PID z informací v datových polích původní události.
- Získání jména události pro Couplebreak záznam jméno vytvoří.
- Získání latence události pro Couplebreak záznam požádá původní událost o tuto informaci.
- Získání obsahu datového pole `info` pro Couplebreak záznam požádá původní událost o tuto informaci.
- Získání identifikátoru události přes její název pro název Couplebreak události vrátí jednu z konstant pro identifikátory Couplebreak událostí.
- Získání všech identifikátorů událostí nebude pozměněno. Kdyby se změnila tato implementace, mělo by to příliš široké následky ve zbytku kódu. Proto bude vytvořena *nová funkce* na získání identifikátorů všech Couplebreak událostí. Na získání opravdu všech identifikátorů přítomných událostí ve streamu bude doporučeno zkontrolovat Couplebreak a pokud je aktivní, tak si zažádat i o seznam jak normálních identifikátorů, tak o seznam Couplebreak identifikátorů.
- Výpis záznamu události pro Couplebreak záznam nejprve vypíše název a PID procesu původní události a poté vypíše to samé, jako by se vypisovala původní událost.

- Získání dat z datové struktury události (tj. názvy datových polí, typ datového pole nebo hodnota datového pole) ze záznamu události pro Couplebreak záznam požádá původní záznam o tuto informaci.

7.3.4 Nové Couplebreak API

Aby se nám s Couplebreakem lépe pracovalo a aby mohly některé jeho koncepty používat i jiné části kódu, dodáme s modifikací i malé API. V něm budou pomocné funkce na získání často potřebných dat, například hodnoty identifikátorů událostí a hodnoty pozic jejich indikátorů v Couplebreak bitmaskách streamů. Všechny prvky tohoto API dáme do souborů `libkshark-couplebreak.h/c`. Tento soubor pak bude součástí knihovny *libkshark*, k čemuž i upravíme CMake instrukce KernelSharku.

7.3.5 Konfigurace

Couplebreak už teoreticky naplno funguje, ale musíme být schopni jej ovládat. K tomu si pořídíme konfigurační dialog, který přidáme do kódu k pomocným okénkům KernelSharku. Pro plnou kontrolu nad jeho obsahem budeme dědit přímo od `QDialog` a zbytek si postavíme pomocí Qt frameworku sami. Přidáme krátký vysvětlující text, aby uživatel věděl, na co klikl a co to umí. Poté přidáme zaškrtačací políčko pro zapínání Couplebreaku. Jelikož streamů může být otevřeno v jedné relaci více, budeme stavět políčka dynamicky podle počtu streamů. Abychom věděli, kterému streamu patří nějaké políčko, přidáme blízko něj popis ve formátu `Stream #N`, kde `N` označuje identifikátor streamu. Naše rodičovská třída již zajišťuje tlačítka pro potvrzení, nebo zahození změn.

Co se interaktivity týče, tak propojíme potvrzující akci dialogu se změnou stavových proměnných Couplebreaku v příslušných streamech. Krom toho i donutíme KernelShark načíst všechna data znovu, aby se mohl Couplebreak projevit. Po datech také znovu načteme pluginy, aby mohly pracovat s novými daty. Dokážeme zapisovat provedené změny, abychom ale také mohli zobrazovat aktuální konfiguraci, budeme pro každý stream kontrolovat, zdali je v něm Couplebreak zapnutý. Jestliže ano, tak zaškrtačací políčko předem zaškrtneme, jinak jej necháme nezaškrtnuté.

Konfigurační okénko se nezobrazí, pokud není načten alespoň jeden stream. Namísto toho se zobrazí chybová zpráva.

7.3.6 Filtry

KernelShark musí o Couplebreak událostech vědět alespoň v jednoduchých filtrech. Pokud by tomu tak nebylo, pak by při aplikaci jednoduchých filtrů nebyly Couplebreak události zahrnuty a KernelShark by je z grafu vyfiltroval vždy. Přidáme tedy k dialogu pro jednoduché filtry funkci, která přidá do seznamu událostí i Couplebreak jako podsystém a pod něj i Couplebreak události. K tomu budeme pouze potřebovat získat všechny identifikátory Couplebreak událostí, což nám zajistí upravené stream API. Nakonec se stačí inspirovat kódem u obyčejného přidávání typů událostí do tohoto dialogu a poté můžeme přidat Couplebreak události.

Pokročilé filtry necháme stranou jako rozšíření modifikace. U těchto filtrů není žádný podstatný problém, jako u filtrů jednoduchých, tedy není tak nutné s nimi spolupracovat.

7.3.7 Propojení s relacemi

Ačkoliv není konfigurace Couplebreaku složitá, bylo by nepohodlné ji při otevření relace vždy znovu nastavovat. Přidáme-li si čas navíc, který KernelShark musí strávit pro opětovném načtení dat, pak pro velká data bychom mohli čekat nepříjemně dlouho. Když si uložíme Couplebreak do relací, tak KernelShark bude potřebovat pouze jedno načtení a my se vyhneme opětovným konfiguracím.

Toto nejspíše bude ta nejjednodušší část implementace, jelikož bude stačit řídit se již existujícím ukládáním dat streamů do relačního souboru a poté uložit jednu booleovskou hodnotu, tj. indikátor zapnutého Couplebreaku. Nemusíme si ukládat nic dalšího, jelikož ostatní proměnné se vyplní při načtení dat. Při načítání pak budeme opět kopírovat to, co streamy obvykle dělájí, ale budeme jenom hledat hodnotu našeho indikátoru. Pro jednoduchost bude tato hodnota také booleovská, pod klíčem „couplebreak“.

7.3.8 Kompatibilita sched_events s Couplebreakem

Plugin sched_events potřebuje měnit vlastníky sched_switch událostí, aby mohl v grafech procesů správně vykreslovat rámečky pro latence. Se zapnutým Couplebreakem ve streamu, kde je plugin aktivní, tato potřeba odpadne. Plugin bude moci využívat ke kreslení události sched_switch[target], které mají správné vlastníky pro potřeby pluginu. Nám tedy stačí detekovat Couplebreak, pokud je detekován, tak říci pluginu, ať se zajímá o cílové switch události a nemění vlastníky Couplebreak událostí. Tím budeme s pluginem hotovi.

7.3.9 Zamítnutá alternativní řešení

Couplebreak události pouze vizuální

Jádrem tohoto přístupu bylo, že při vykreslování by se KernelShark pokusil zachytit podporovanou událost a nakreslit dva biny do grafu trasování. Nápad byl velmi rychle zamítnut, jelikož by toto byla operace pro každé vykreslení grafu, což má být pokud možno rychlá operace, ale toto by ji zdržovalo. Krom toho by vytváření prostoru pro bin bylo, dle odhadů, zbytečně složité a se záznamy by nebylo možno pracovat v jiných částech kódu.

Dynamické identifikátory událostí

Kromě fixních identifikátorů pro Couplebreak události existoval i nápad, že budou negativními hodnotami identifikátorů původních událostí. Tento přístup byl ovšem zamítnut při návrhu dalších částí Couplebreak API, jelikož by bylo nutné vždy znát identifikátory původních událostí, což by byla práce navíc, které se můžeme vyhnout.

7.4 Vývojová dokumentace

Tato sekce hodlá předat čtenáři strukturu modifikace, podle které se lze v modifikaci orientovat. Zároveň pak dodá krátký návod pro vývojáře, kteří by chtěli s Couplebreakem pracovat ve svých pluginech či změnách pro KernelShark.

Názvy

Krátkou část věnujeme názvům přidaných prvků v kódu. Ačkoliv je každá změna ohraňována komentáři, které ji vyznačují, jsou prvky pojmenovány tak, aby čtenář ihned poznal, že něco souvisí s touto modifikací. To je dosaženo tím, že součástí jména nových prvků je řetězec `couplebreak`, často jako prefix. Tak je tomu v novém API, ale i v čistě implementačních funkcích, pokud nebyla značka v ohraňujícím komentáři sama ohraňována uvozovkami (viz vysvětlení ohraňujících komentářů 4.2.1).

7.4.1 Struktura modifikace

Modifikaci rozdělíme na moduly. Modifikace obsahuje několik částí, které ji různě integrují do existujících modulů KernelSharku. Jejich seskupením do „integračního modulu“ bychom však přišli o informativnější rozdělení, proto budou integrační části samostatnými moduly. Pro detailnější informace a implementační detaily je doporučeno prohlédnout si samotný kód a technickou Doxygen dokumentaci KernelSharku, jejíž novou součástí jsou i části o modifikaci.

Ke každému modulu připišeme i soubory, ve kterých je modul implementován, a prvky modulu jako veřejné funkce, makra, či veřejné třídy. Prvky mimo hlavičkové soubory, nebo označený za privátní pro třídu jsou brány jako implementační detaily a nebudou zde popsány (lze je najít uvnitř souborů modulu).

V kódu a CMake instrukcích modifikace používá značku `COUPLEBREAK` v ohraňovacích změnách.

Couplebreak API

Tento modul dodává nové konstanty a funkce, hlavně pro získávání informací. V souborech modulu jsou definovány identifikátory pro jednotlivé Couplebreak události, pozice indikátorů v bitové masce aktivních Couplebreak událostí ve streamech a funkce Couplebreak API, aby další kód (například pluginy) mohl s Couplebreakem pracovat.

- **Soubory:** `libkshark-couplebreak.h/c`
- **Makra:**
 - `COUPLEBREAK_SST_ID` - ID události `sched_switch[target]`.
 - `COUPLEBREAK_SWT_ID` - ID události `sched_waking[target]`.
 - `COUPLEBREAK_SSWITCH_FPOS` - pozice indikátoru pro událost `sched_switch[target]` v Couplebreak bitmasce ve streamu.
 - `COUPLEBREAK_SWAKING_FPOS` - pozice indikátoru pro událost `sched_waking[target]` v Couplebreak bitmasce ve streamu.

- **Funkce:**

- *couplebreak_get_origin* - vrátí záznam původní události záznamu Couplebreak události.
- *couplebreak_origin_id_to_flag_pos* - vrátí pozici indikátoru uvnitř bitmasky Couplebreaku datového streamu z identifikátoru události, ke které by Couplebreak vytvořil Couplebreak událost.
- *couplebreak_id_to_flag_pos* - vrátí pozici indikátoru uvnitř bitmasky Couplebreaku datového streamu z identifikátoru Couplebreak události.
- *flag_pos_to_couplebreak_id* - vrátí identifikátor Couplebreak události z pozice indikátoru v bitmasce Couplebreaku datového streamu.
- *is_couplebreak_event* - zjistí, zdali je daná událost Couplebreak událostí.
- *get_couplebreak_event_name* - vrátí jméno Couplebreak události z identifikátoru Couplebreak události.

Tento modul je také důvodem změny souboru *CMakeLists.txt* v adresáři zdrojového kódu KernelSharku, jelikož soubory jej obsahující jsou nové.

Konfigurace

Modul se zajímá hlavně o GUI okénko pro konfiguraci Couplebreaku a aplikaci změn provedených v tomto okně na streamy, kterých se to týká. Kvůli této povinnosti tento modul hlavně komunikuje s modulem integrace do datových streamů. V souborech modulu byly do hlavního okna přidány grafické elementy pro ovládání Couplebreaku přes GUI.

- **Soubory:** *KsMainWindow.hpp/cpp*, *KsWidgetsLib.hpp/cpp*
- **Třída:** nová třída *KsCouplebreakDialog* pro okénko konfiguračního dialogu Couplebreaku.

Integrace do datových streamů

Couplebreak se v tomto modulu spojuje s datovými streamy KernelSharku a funkcemi, které je využívají. Dodává nové funkce, upravuje implementace funkcí starých, aniž by porušil jejich původní funkcionalitu, a přidává proměnné do datových struktur streamů - vše ke správě stavu Couplebreaku.

- **Soubory:** *libkshark.h/c*, *libkshark-tepdata.c*, *KsUtils.hpp/cpp*
- **Datové položky v *kshark_data_stream*:**
 - *couplebreak_on* - indikátor zapnutého či vypnutého Couplebreaku ve streamu.
 - *n_couplebreak_evts* - počet vytvořených typů Couplebreak událostí.
 - *couplebreak_evts_flags* - bitmaska, která zaznamenává, které typy událostí jsou ve streamu přítomné.

Nedoporučuje se při běhu KernelSharku měnit jakoukoliv z datových položek výše, podobně jako se nedoporučuje měnit například počet originálních zaznamenaných událostí ve streamu, `n_events`. Modifikace nemá definované chování, pokud se tyto položky změní. Čtení není nijak omezeno.

- **Rozšíření rozhraní:** nová funkce `get_couplebreak_ids` v rozhraní datových streamů. Má vlastní nový typ funkce, `stream_get_couplebreak_ids_func`. Vrací pole identifikátorů vytvořených Couplebreak událostí v daném streamu.
- **Funkce:**
 - `kshark_get_couplebreak_ids` - vrací pole identifikátorů všech Couplebreak událostí přítomných v daném streamu.
 - `getCouplebreakIdList` - vrací seznam identifikátorů všech Couplebreak událostí přítomných v daném streamu. Využita hlavně v modulu *Integrate do jednoduchých filtrů*.

Tvoření záznamů Couplebreak událostí

Modul má na starost vytvářet záznamy Couplebreak událostí, opravovat jejich data, a spojovat je s původními událostmi. Modul řeší čistě implementaci a nelze s ním komunikovat skrze veřejná rozhraní.

- **Soubor:** libkshark-tepdata.c

Integrace do jednoduchých filtrů

Zde jsou upraveny jednoduché filtry tak, aby věděly o Couplebreak událostech a ty mohly být filtrovány. Úpravy se týkají GUI pro jednoduché filtry. Modul řeší čistě implementaci a nelze s ním komunikovat skrze veřejná rozhraní.

- **Soubory:** KsMainWindow.cpp, KsWidgetsLib.hpp/cpp

Integrace do relací

Tento modul se stará o ukládání Couplebreaku do relačních dat streamů KernelSharku a načítání Couplebreaku z relací. Modul řeší čistě implementaci a nelze s ním komunikovat skrze veřejná rozhraní.

- **Soubor:** libkshark-configio.c

7.4.2 Úprava mimo hlavní logiku modifikace

Spolupráce sched_events s Couplebreakem

Rozšíření oficiálního pluginu `sched_events`, dovoluje pluginu používat Couplebreak události a otevírá tak kompatibilitu pro další pluginy. Rozšíření je obsaženo v souboru `sched_events.c`.

7.4.3 Vyvíjení pro KernelShark s Couplebreakem

Modifikace se snaží být nerušivou součástí KernelSharku. Pokud budeme někdy chtít dále vyvíjet pro KernelShark, tak lze naše změny třeba nejprve navrhnout pro KernelShark bez aktivního Couplebreaku a až poté se pokoušet o integraci, pokud je nutná. Většinou by pak měl nový kód kontrolovat zda je Couplebreak aktivní přes proměnné ve streamu a měnit chování podle této informace. Samozřejmě existují i vylepšení, pro která nemá taková kontrola smysl, například rozšíření relací o nový datový formát - zde je nutné ukládat data Couplebreaku (alespoň zda byl ve streamu aktivní).

Vývojář pluginů může využít Couplebreak API, kontrolovat přítomnost této modifikace ve streamu a dále tato data využívat. Modifikace by pak měla být respektována vždy, kdy se očekává nějaký sled událostí a Couplebreak nějakou z nich dokáže dělit.

Couplebreak může pomoci s vytvořením kompatibility pro nějaké pluginy. Příkladem mohou být pluginy `sched_events` a *Naps* (viz kapitola 8). Oba pluginy potřebují měnit vlastníky některých záznamů událostí, aby mohly kreslit své tvary do grafu jednoho procesu. Pokud jsou oba pluginy aktivní bez zapnutého Couplebreaku, tak buď kreslí mezi špatnými záznamy, nebo na špatných místech. Oba totiž pohnuly se záznamy a narušily tak očekávání druhého z nich. S Couplebreakem nemusejí se záznamy hýbat, jelikož pro své potřeby si mohou vybrat záznamy od Couplebreaku.

Dotazy na záznamy KernelSharku

Každá funkce v rozhraní dotazů na záznamy KernelSharku může být používána jako dříve, i s Couplebreak událostmi. Pro Couplebreak většinou taková funkce bude pracovat s daty původního záznamu nebo vytvoří požadované hodnoty na místě. To je hlavní rozdíl oproti normálním záznamům událostí, jelikož pro ně dotazy získávají hodnoty ze souboru s trasovacími daty.

Například: pokud zavoláme `kshark_find_event_id`, tak KernelShark zachytí jméno hledané události. Během průběhu funkce, která má na starosti získání jména z originálních trasovacích dat, předá Couplebreak kontrolu jiné funkci. Ta na základě přítomnosti Couplebreaku ve streamu buď vrátí správný identifikátor, nebo vrátí neplatný identifikátor a nebo předá kontrolu původní funkci, pokud nebylo hledané jméno součástí jmen Couplebreak událostí.

Záznamy Couplebreak událostí

Couplebreak události jsou přidány za běhu programu a nemohou nijak kontrolovat „původní data“, například původní název procesu, kterému událost patří. Dotazy na taková data jsou tak buď nasměrovány na záznamy událostí, kvůli kterým vznikly, nebo vytvořením dat nanovo, viz předchozí sekce.

Toto je způsobeno tím, co je v datech záznamů Couplebreak událostí, specificky v jejich poli `offset`. Tam již není offset do trasovacího souboru, nýbrž ukazatel na původní záznam události. Z toho také vychází, že toto pole se nikdy nesmí pro záznamy Couplebreak událostí měnit. Kromě tohoto pole je zakázáno i jakkoliv měnit pole `event_id`, jelikož pro Couplebreak záznam je tato změna nevratná. Pokud jakékoliv z těchto dvou polí bude změněno, chování takového záznamu

je nedefinováno, záznam lze považovat za rozbitý a již neobsahuje Couplebreak událost.

7.5 Uživatelská dokumentace

7.5.1 Instalace

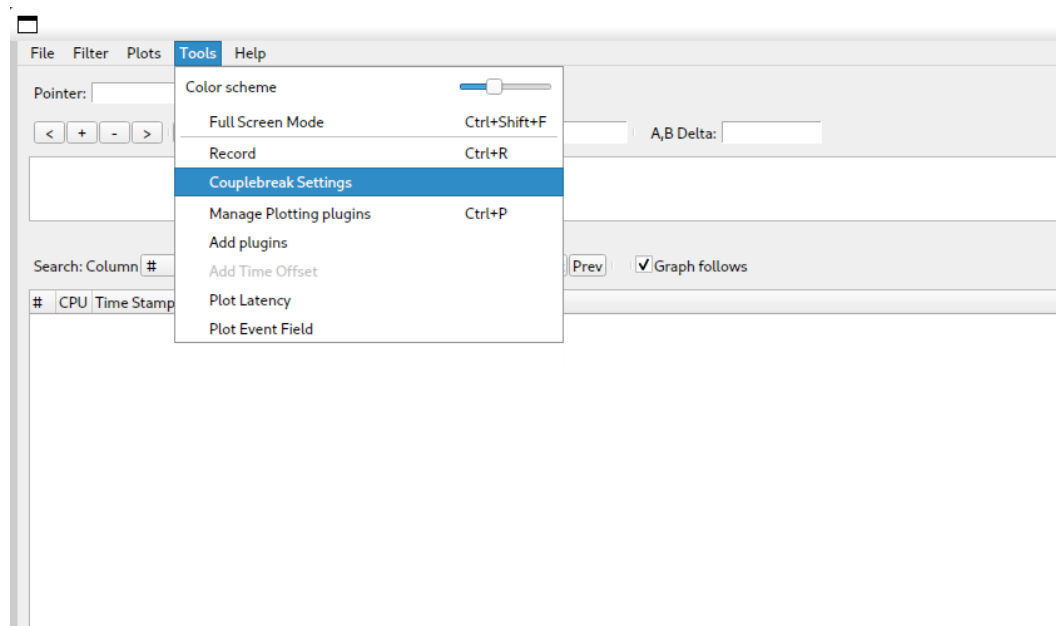
Couplebreak je součástí zdrojového kódu KernelSharku a je ve více souborech, některé z nich jsou nové. Proto byl upraven soubor sestavovacích instrukcí CMakeLists.txt. Pokud již máte nainstalovaný KernelShark, tak jej nainstalujeme znovu, je nutné, aby se sestavil i s novými soubory. Instrukce k instalaci KernelSharku dodává sám KernelShark a jsou také popsány v kapitole 3 o něm.

7.5.2 GUI

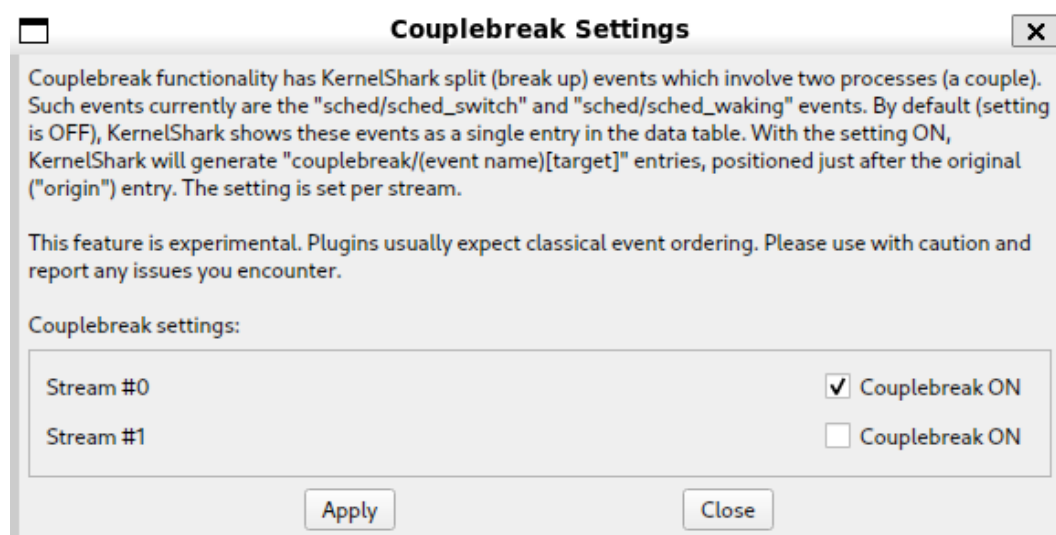
Uživatel GUI KernelSharku musí Couplebreak zapnout, modifikace je ve výchozím nastavení vypnutá. K tomu stačí kliknout na nové tlačítko **Couplebreak Settings** v submenu **Tools** v menu KernelSharku, viz obrázek 7.1. Mělo by být umístěno pod tlačítkem **Record**. Po kliknutí se zobrazí konfigurační okénko, ve kterém se dá Couplebreak zapnout pro každý z otevřených streamů zvlášť, viz obrázek 7.2. Součástí okénka je i krátký vysvětlující text této modifikace, tlačítko **Apply** na aplikaci vybrané konfigurace a tlačítko **Cancel** na zavření okénka bez provedení změn.

Zaškrtnutím políčka pro nějaký stream v konfiguračním okénku a následným použitím této konfigurace se data ve streamech načtou znovu. Toto také donutí pluginy aktivní v dotyčných streamech, aby se znovu načetly. Pluginy si tak mohou obnovit svůj kontext a použít nová data (tj. s novými Couplebreak záznamy).

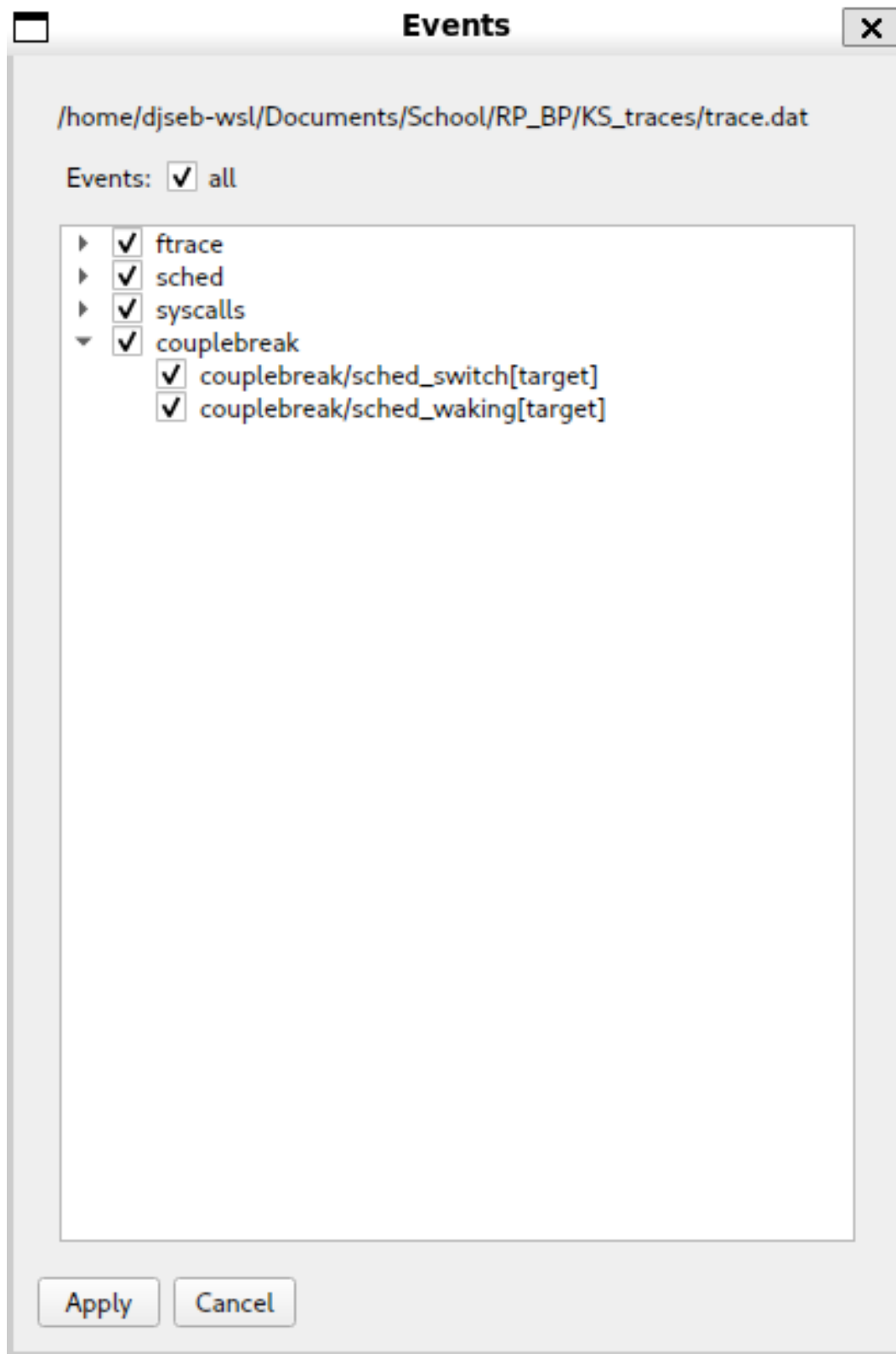
Záznamy Couplebreak událostí mohou být filtrovány jednoduchým filtrem stejně jako ostatní události, viz obrázek 7.3. Nelze je filtrovat pomocí pokročilých filtrů, ty nejsou podporovány. Záznamy jsou viditelné v seznamu událostí a i v grafu trasování. Je možné, že budou zakrývat záznam své počáteční události, nebo budou naopak zakrývány takovým záznamem. Z hlediska rozlišení událostí to není velký problém, obě události jsou v podstatě to samé, jenom rozdělené. Pro vybrání zakrytého záznamu je pak nejjednodušší jej vybrat v seznamu událostí.



Obrázek 7.1 Submenu Tools s tlačítkem pro konfiguraci Couplebreaku.



Obrázek 7.2 Dva streamy jsou otevřené, v jednom z nich je aktivní Couplebreak.



Obrázek 7.3 V jednoduchém filtru lze vybírat i Couplebreak události.

7.6 Buggy a chyby

Záznamy Couplebreak událostí by se neměly účastnit kreslení obdélníků mezi záznamy v grafu, jelikož nepředstavují opravdovou práci, nýbrž důsledek práce někde jinde. KernelShark ale nemá jak rozlišit tyto záznamy a obdélníky se kreslí i pro ně. Vylepšení *NoBoxes* se snaží toto chování opravit, ale neumí to dokonale.

Během vývoje KernelShark dvakrát spadl při opravě CPU pro `sched_waking[target]` záznamy. Ačkoliv bug se po dokončení Couplebreaku dále neobjevil, nebyl ani explicitně opraven. Pokud by KernelShark spadl při načítání trasovacích dat, je možné, že příčinou byl Couplebreak.

7.7 Rozšíření

Tato sekce představí některá rozšíření, která by modifikaci zjednodušila, nebo by dodala nové funkce. Upozorňujeme, že se mohou objevit rozšíření, která upravují čistě implementaci, například zlepšují čitelnost kódu - u těchto se očekává znalost kódu vylepšení. Takové části budou vždy označeny v první větě jejich sekce.

Podpora více událostí

Přirozeným rozšířením této modifikace by bylo rozšíření Couplebreaku o více událostí, případně i o vytváření nějakých počátečních událostí. Existující kód Couplebreak událostí a všeho, co s jich týká, by měl dostatečně nastínit, jak postupovat při takových změnách.

Funkce `get_*_event_ids` a širší podpora pro umělé události

Couplebreak přidal `get_couplebreak_evt_ids` („Couplebreak“ funkce) do rozhraní streamu. Vytvořena byla proto, že úprava `get_all_event_ids` („all“ funkce) pro spolupráci s Couplebreakem by způsobila příliš mnoho úprav chování v místech, kde byla použita. Tato použití někdy vůbec nepotřebují o umělých událostech vědět.

S „Couplebreak“ funkcí je ale funkcionalita „all“ funkce narušena - nyní už nevydá všechny události ve streamu, nýbrž jen všechny události, které nejsou vytvořeny Couplebreakem. Bylo by proto lepší, kdyby „all“ funkce byla alespoň přejmenována, aby lépe odrážela svou práci, například na `get_all_original_event_ids`. Poté bychom i mohli dodat funkci, která by vrátila opravdu všechny události. Dobré by pak bylo projít celý kód KernelSharku a rozhodnout zdali jsou na místech použití „all“ funkce potřeba všechny události, nebo pouze originální události.

Celkově by bylo hezké dodat KernelSharku obecnou podporu pro práci s umělými událostmi, nejen pro události od Couplebreaku. Ten je sice jediným výrazným producentem umělých událostí, ale nemusí tomu tak být napořád, mohou přibýt další vylepšení, která budou umělé události vytvářet a využívat.

Rozdělování pouze některých událostí

Možným rozšířením je rozdělování pouze některých událostí, které bychom si vybrali v konfiguraci. Tím by bylo rozdělování jemnější. Nicméně by také bylo nutné refaktorovat části, které kontrolují aktivní Couplebreak, například pokud by

nás zajímalo jenom to, zdali se rozdělují události typu `sched_switch`. Zároveň by toto znamenalo indikátory pro každou událost, na což by mohla být opět použita bitmaska.

Podpora pokročilých filtrů

Couplebreak události mohou být filtrovány jen pomocí jednoduchých filtrů. Ale bylo by možné (i příjemné) mít možnost je využít v pokročilých filtrech. S nimi by pak měl uživatel detailnější kontrolu nad zobrazováním záznamů a navíc by tak byla odstraněna tato nesrovnalost vůči ostatním událostem, které tyto filtry podporují.

Optimalizace průchodů daty při opravě CPU pro `sched_waking`

(Tato úprava očekává znalost kódu implementace.)

Couplebreak ve své stávající podobě donutí nasbíraná data, aby byla seříděna dle CPU a času do nějakého pole, ve kterém poté vyhledá konečná CPU pro probouzené události, tzv. opraví CPU. Stejně pole později vytváří ale i další funkce, které jsou zavolány po naší opravě. Vytváříme tedy pole, které poté zahodíme, ale po chvíli je vytvořeno znovu. Toto rozhodně představuje prostor pro optimalizace.

První možnou optimalizací je prosté neopravování CPU cílových událostí. Zkrátka volání opravy neprovedeme. Tím ale také přijdeme o informaci, kde nakonec byl proces probuzen. Je to ovšem nejjednodušší řešení.

Druhou možností je použít trik podobný hledání záznamů zásobníku v pluginu *Stacklook*. Vytvořili bychom plugin, který cílovým událostem CPU opraví v jednom průchodu při prvním pokusu o kreslení a dále se nevolá, pokud není plugin načten znovu. Nápad to není špatný, ale bylo by nutné pak řešit situace, kdy by některé jiné pluginy nebo části KernelSharku mohly očekávat původní CPU.

Třetí možností je ponořit se do vnitřností KernelSharku a upravit místa, kde se pole vytváří a místa, kde zanikají. Pokud bychom opravili CPU, tak bychom si možná mohli na pole uschovat ukazatel a nějakým způsobem ho předat funkcím, které by pak nemusely vytvářet nové seříděné pole. Toto by byla čistá optimalizace a nebylo by nutné oddělovat opravy CPU od Couplebreaku.

Couplebreak v datovém streamu

(Tato úprava očekává znalost kódu implementace.)

Streamy mají v současnosti tři proměnné, které dohromady symbolizují stav Couplebreaku ve streamu: počet typů vytvořených Couplebreak událostí, indikátor aktivního Couplebreaku a bitmasku vytvořených typů. Navrženým rozšířením je úprava na dvě proměnné. Jelikož máme omezeně mnoho bitů v bitmasce, lze v konstantním čase spočítat i počet vytvořených typů událostí z této proměnné. Tím bychom mohli z datové struktury odstranit počet Couplebreak událostí a místo toho toto číslo vždy rychle spočítat. Pokud bychom se chtěli opravdu omezit na minimum proměnných, bylo by možné použít pouze jednu bitmasku, kde by jeden bit speciálně označoval aktivní Couplebreak.

Toto rozšíření ale není moc užitečné v desktopovém prostředí, kde GUI aplikace obvykle běžící. Streamy KernelShark nevytváří mnoho a tak na paměti moc

neušetříme. Není pro nás ani zajímavá časová stopa, buď přečteme proměnnou, nebo hodnotu získáme z 32 bitů.

Jediným dobrým důvodem pro rozšíření by bylo sjednocení proměnných streamu do jedné struktury. Tím bychom sice paměti nepomohli, ale ve streamu by bylo méně proměnných a stav Couplebreaku by byl více zapouzdřen, než doposud.

7.8 Kritika

V této sekci autor kriticky zhodnotí své řešení. Kritika má nadpis a popis a dále buď obsahuje obranu proti ní, nebo souhlas s předneseným problémem. Upozorňujeme, že následující kritika se týká pouze implementace řešení a očekává se znalost kódu vylepšení. Aby splňovala formu kritik jiných vylepšení, je tento fakt znovu napsán v první větě jejího popisu.

Změny ve stream API

(Tato kritika očekává znalost kódu implementace.)

Změna funkcí ve stream API je trochu nepříjemná. Kvůli `missed_events` již KernelShark představuje nějaký způsob, jak zpracovávat vlastní umělé události. Couplebreak ale občas potřebuje speciální zpracování a tak je někdy cesta položená KernelSharkem opomíjena. Zpracovávání žádosti na stream API pak prochází přes sekci pro normální událost, pak sekci pro Couplebreak události a až poté se dostane k sekci pro obecné vlastní události, kde by dle původní implementace mělo probíhat zpracování. Couplebreak tak občas nerespektuje záměry kódu, což může čtenáři kódu působit mírnou nepříjemnost. Příkladem by mohla být funkce `tepdata_dump_entry`, kdy se zpracování pro Couplebreak stane před switch konstrukcí, ve které se očekávalo zpracování vlastních umělých událostí. Zde je přítomno i vysvětlení, proč je Couplebreak řešen jinak.

7.9 Zhodnocení splnění požadavků

Modifikace není aktivní, dokud není v nějakém streamu zapnuta skrze konfigurační okénko. Plugin `sched_events` pracuje jako dříve, pokud je Couplebreak vypnutý ve streamu, kde plugin působí. Relace bez pole pro Couplebreak jej po načtení vypnou, ukládání je pro uživatele stejné jako dříve. Tím splňujeme obecný požadavek *minimálního vlivu* modifikací. Požadavek *stylové podobnosti* se musí ověřit čtením kódu provedených změn. Rychle lze ale například ověřit, že se Couplebreak snaží používat podobné formáty jmen pro prvky v C kódu a podobné formáty jako v C++ kódu. Požadavek o *chování se jako rozšíření* je též splněn - pokud je někde změna původního chování, je popsána v komentáři, například při opravách CPU u cílových `sched_waking` událostí. Navíc Couplebreak vždy kontroluje, zda je zapnutý a pokud tomu tak není, pak se KernelShark chová jako dříve, tj. chování se pouze rozšířilo pro novou situaci. Ostatní změny jsou triviálně pouze rozšiřující, jako nová funkce pro stream API, Couplebreak API s novými funkcemi, nebo nové proměnné v datové struktuře streamů.

Vlastní cíle Couplebreak plní, protože při analýze bylo řešení sestaveno tak, aby cíle splňovalo.

8 Naps

V této kapitole rozebereme plugin pro KernelShark, se kterým budeme schopni v grafu zobrazit dobu mezi přepnutím nějaké úlohy a jejím probouzením od nějakého jiného procesu. Termínem „nap“ pak označujeme právě období nečinnosti nějakého procesu. V kapitole se seznámíme s cíli, analýzou řešení, návrhem a použitím tohoto pluginu. Nakonec i řešení kriticky zhodnotíme a představíme návrhy pro rozšíření.

8.1 Cíle

- Mezi událostmi `sched_switch` procesu P1 a `sched_waking` procesu P2, který probouzí P1, se bude vykreslovat obdélník a text. Vykreslený text bude název předchozího stavu P1 před přepnutím. Vykreslený obdélník bude měnit svou barvu dle předchozího stavu.
- Plugin musí dostat `sched_waking` události do grafů procesů, které jsou těmito událostmi probouzeny, aby mohl své grafické objekty vykreslovat.
- Plugin bude spolupracovat s vylepšením Couplebreak. Namísto využívání `sched_waking` událostí se využijí cílové události probouzení. Spolupráce musí být automatická, tj. pokud je zapnut Couplebreak, plugin ho používá, a pokud je Couplebreak vypnutý, plugin jej nepoužívá - to vše bez vstupu od uživatele.
- Plugin bude možné konfigurovat skrze grafické okénko. Minimální konfigurovatelné nastavení bude maximální počet záznamů viditelných v grafu, než se plugin aktivuje.

8.2 Analýza

Tato sekce zachytí postup, kterým se dostaneme k implementaci řešení. Jedná se o techničtější a detailnější analýzu než analýza z kapitoly *Obecná analýza a stanovení požadavků*. Tato sekce bude často odkazovat na plugin *Stacklook* a jeho analýzu, abychom se vyhnuli zbytečnému opakování.

8.2.1 Propojení s KernelSharkem

Přeskočíme hlubší přemýšlení nad tím, jak připojit plugin do KernelSharku, to jsme již udělali u analýzy kapitoly 6 pluginu Stacklook a stejný postup můžeme jednoduše upravit pro naše účely. V rychlosti ale zopakujeme, že plugin s KernelSharkem propojíme pomocí handlerů pro kreslení, vytváření menu nebo načítání dat. Pluginy mají kontext, ve kterém jsou proměnné pro daný plugin globální, takový kontext si sami definujeme. Implementaci propojujícího modulu rozdělíme do C kódu, který se bude starat hlavně o propojení s KernelSharkem a správné přiřazování handlerů, a do C++ kódu, který se bude starat o složitější logiku fungování pluginu.

Jediným opravdu podstatným rozdílem bude handler pro načítání událostí. Nyní nebudeme pouze vybírat pro nás zajímavé záznamy událostí, kterými jsou `sched_switch` a `sched_waking`. Pro události typu `sched_waking` je upravíme i tak, že proces, který událost vlastní, změníme z procesu probouzejícího na proces probouzený. Tím budeme pak schopni kreslit obdélníky mezi přepnutím kontextu z procesu až po jeho probouzení. Postup je velmi podobný pluginu `sched_events`, který takto přesouvá pro své účely události `sched_switch`.

Již zde je jasné, že pluginy si bez Couplebreaku neporadí a budou si vzájemně škodit, budou-li aktivní ve stejném streamu. V kapitole o Couplebreaku jsme `sched_events` vylepšili o možnost namísto `sched_switch` událostí vybírat události od Couplebreaku. Naps také bude obsahovat kód, který bude schopen Couplebreak využít. Takto bude i pěkně předvedena schopnost Couplebreaku být mostem pro kompatibilitu některých pluginů. Jediné, co my musíme přidat, je kontrola, zdali je ve streamu Couplebreak aktivován. Ta proběhne před určením událostí, které nás budou zajímat. Pokud je Couplebreak aktivní, tak se nebudeme zajímat o události `sched_waking`, nýbrž o události `sched_waking[target]`. Takto jsme stejně jako u pluginu `sched_switch` odstranili nutnost měnit data trasovaných událostí a plugin žádným dalším pluginům nemůže škodit reorganizací záznamů událostí.

8.2.2 Kreslení obdélníků do grafu

KernelShark dodává API na kreslení objektů, ovšem my bychom nyní chtěli kreslit pomocí dvou záznamů v grafu, nikoli pouze pomocí jednoho, jako u Stacklooku. KernelShark má i takovou situaci vyřešenou pomocí „intervalového kreslení“, tj. kreslení mezi dvěma záznamy, které přirozeně v grafu vytváří nějaký časový interval. Nám pak opět stačí jenom dodat nějakou kreslicí funkci s danou signaturou, pomocí níž KernelShark obdélník nakreslí. Narozdíl od Stacklooku ale budeme kreslit obdélníky pouze v grafech procesů, jelikož doba nečinnosti procesu se zřejmě týká jenom tohoto procesu.

8.2.3 Nap obdélníky

Nyní nám už jen stačí obdélníky navrhnout. Název „nap obdélník“ označuje právě obdélník vytvořený tímto pluginem. Z cílů nám vychází, že musejí být dostatečně velké pro text a zároveň je dáno, že barva musí být spojena s předchozím stavem. Nejjednodušším řešením zde bude nějaká konstantní mapa předchozích stavů na barvy. Aby byly barvy jednoduše rozlišitelné, tak budeme pracovat s barvami světlými i tmavými. Přidáme ještě barvení vrchní a spodní hrany obdélníku podle barvy procesu - k tomu nám pomůže dodatečné vylepšení *Get Colors*. Toto barvení nebude ve výchozím nastavení zapnuto, tj. obdélníky nebudou mít žádné hrany obarvené. Cílem tohoto vedlejšího vylepšení je jak ukázka *Get Colors*, tak o trochu hezčí prezentace obdélníků.

Obdélníky budou pak muset text zobrazovat dle světlosti barvy buď v černé nebo v bílé. Text umístíme někde uprostřed obdélníku. Je možné, že dva záznamy, mezi kterými má být obdélník, budou příliš blízko. Proto budeme text zobrazovat jenom pokud obdélníky budou dostatečně široké, to vypočteme pomocí délky textu k zobrazení. Podobně jako u Stacklooku získáme data pro text z informací v `sched_switch` události. Nebudeme ale vytvářet samostatný mini-modul jako u

Stacklooku, získání stavu bude pouze součástí vytváření obdélníku.

Obdélníky nebudou mít definované interakce s uživatelem, není to součástí našich cílů, tedy nebudou reagovat ani na dvojité kliknutí, ani na přejetí kurzorem myši.

8.2.4 Konfigurace

Zde využijeme dělení konfigurace ze Stacklooku na konfigurační objekt a GUI okénko, které je jediným místem pro manipulaci konfiguračního objektu. Také dáme uživateli možnost konfigurovat počet viditelných záznamů v grafu, než se plugin spustí. A podobně jako u Stacklooku přidáme zaškrtačací tlačítko pro použití funkcionalit od *Get Colors*. Žádné další konfigurační možnosti nedodáme, jelikož nejsou potřeba. Pokud sestavíme Naps pro nemodifikovaný KernelShark, tak zaškrtačací políčko nebude součástí konfigurace, nemělo by pak, co měnit.

8.2.5 Plugin pro nemodifikovaný KernelShark

Stejně jako Stacklooku, i Naps využije podmíněnou kompilaci pomocí makra `ifndef` s názvem `_UNMODIFIED_KSHARK`. Zde se bude pouze týkat barvení hran nap obdélníků.

8.3 Vývojová dokumentace

Dokumentace pluginu

Dokumentace je napsána pro nástroj Doxygen. Dokumentována byla každá funkce i proměnná, ale vygenerovaná dokumentace obsahuje jen prvky veřejné. Pro implementační detaily je doporučeno se podívat do zdrojového kódu. Dokumentace obsahuje i hlavní stránku a stránku s velmi hrubým nástinem návrhu.

Struktura projektového adresáře

Adresář pluginu obsahuje další adresáře. Adresář „src“ je pro zdrojový kód a adresář „doc“ je pro dokumentaci uživatelskou a dokumentaci technickou. Očekává se, že na této úrovni jsou i adresáře pro sestavení. Na stejné úrovni žije i README, soubor s licencí a nejvyšší CMakeLists.txt. V těchto CMake instrukcích se nastaví proměnné sestavení, například typ sestavení, a případně se zavolá generování dokumentace. CMake instrukce zodpovědné za vytvoření binárního souboru jsou v adresáři se zdrojovým kódem, stejně jako to dělá KernelShark.

Struktura pluginu

Plugin rozdělíme na moduly. Pro detailnější informace a implementační detaily je doporučeno prohlédnout si samotný kód a technickou Doxygen dokumentaci pluginu.

Ke každému modulu připíšeme i soubory, ve kterých je modul implementován, a prvky modulu jako veřejné funkce, makra, či veřejné datové struktury. Prvky mimo hlavičkové soubory, nebo prvky označené za privátní pro třídu jsou brány

jako implementační detaily a nebudou zde popsány (lze je najít uvnitř souborů modulu).

Propojující modul

Modul s kódem propojujícím KernelShark a plugin. Obsahem je hlavně kontext pluginu, funkce kontextu, handlers a implementačně pomocné funkce. Součástí tohoto modulu je část s C kódem a implementační část v C++ prvků z hlavičkového C souboru. Právě v „C++ části“ (napsaná v C++) se ostatní moduly propojují; zároveň tato část ukládá některá globální data s C++ typy.

- **Soubory:** naps.h/c, Naps.cpp
- **Datová struktura:** kontextová struktura *plugin_naps_ctx* s identifikátory, řídicími proměnnými a kolekcí zajímavých záznamů událostí.
- **Makra:**
 - *FONT_SIZE* - udává velikost textů vytvořených pluginem.
 - *KS_DECLARE_PLUGIN_CONTEXT_METHODS* - deklaruje generické funkce pro inicializaci, uzavření a pro získání kontextu pluginu.
- **Funkce:**
 - *get_font_ptr* - získá ukazatel na textový font.
 - *get_bold_font_ptr* - získá ukazatel na tučný textový font.
 - *draw_nap_rectangles* - handler pro kreslení Naps obdélníků.
 - *plugin_set_gui_ptr* - předá Naps ukazatel na hlavní okno KernelSharku během inicializace pluginu.

Konfigurace

Modul se skládá ze dvou tříd, konfiguračního objektu a konfiguračního okénka. Konfigurační objekt obsahuje konfigurační data, která plugin zrovna využívá a je navržen jako singleton. Konfigurační okénko představuje GUI objekt, kterým se data v konfiguračním objektu manipulují.

- **Soubory:** NapConfig.hpp/cpp
- **Třídy:**
 - *NapConfig* - singleton, obsahuje konfigurační data, která plugin zrovna využívá.
 - *NapConfigWindow* - GUI element, přes který lze měnit data v konfiguračním objektu.

Nap obdélníky

Modul se zajímá o vzhled a kreslení Nap obdélníků mezi záznamy. Součástí vzhledu je vnitřní barva obdélníku, barva vrchní a spodní hrany a text v obdélníku, tj. barva textu, jeho velikost a obsah.

- **Soubory:** NapConfig.hpp/cpp
- **Třída:** pro vizualizaci nečinnosti grafickým obdélníkem byla vytvořena třída *NapRectangle*.
- **Funkce:** *get_switch_prev_state* vrátí identifikátor předchozího stavu z daného záznamu události (pouze pro události sched_switch).

8.4 Uživatelská dokumentace

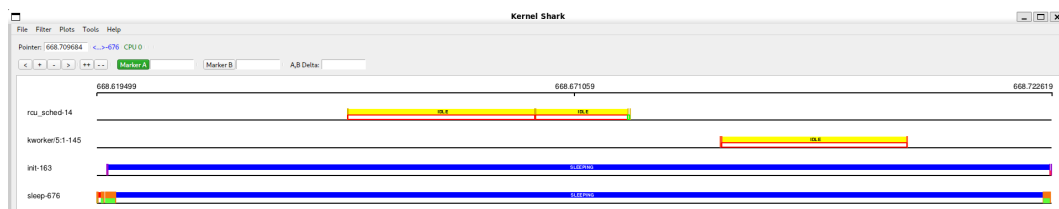
Tato sekce popíše jak instalovat a používat plugin Naps v KernelSharku a co od něj během běhu očekávat, či na co si dát pozor. Malá ukázka fungujícího pluginu je na obrázku 8.1.

8.4.1 Instalace

Předpoklady

- CMake verze alespoň 3.1.2.
- Pokud chceme plugin využívající modifikovaný KernelShark, pak je nutná verze alespoň 2.4.0-couplebreak. Pokud chceme plugin pro nemodifikovaný KernelShark, pak je nutná verze alespoň 2.3.2.
- Závislosti KernelSharku (nalezneme v README repozitáře KernelSharku), zejména Qt6 a traceevent.
- Doxygen na technickou dokumentaci.

Tento plugin funguje výrazně lépe, pokud je KernelShark modifikovaný. V takovém KernelSharku je plugin plně kompatibilní s oficiálními pluginy, pokud je Couplebreak zapnutý. V případě nemodifikovaného KernelSharku pak tento plugin vyžaduje vypnutí pluginu sched_events, jinak nebude správně fungovat.



Obrázek 8.1 Fungující Naps

Sestavení a instalace pouze pluginu

1. V terminálu nastavme pracovní adresář na složku **build** (pokud ještě neexistuje, pak ji nejlépe vytvořme v kořenovém adresáři projektu).
2. Spustíme příkaz **cmake ..** pro zahájení sestavení. Pokud hlavní soubor **CMakeLists.txt** není v nadřazené složce, předejme programu CMake platnou cestu k němu.
 - Používáme-li verzi KernelSharku bez modifikací, přidejme do příkazu argument **-D_UNMODIFIED_KSHARK=1**. Sestavení pro nemodifikovaný KernelShark odstraňuje možnost barvit vrchní a spodní hranu obdélníků kreslených pluginem barvou úlohy, které obdélník patří.
 - Pokud chceme generovat dokumentaci pomocí Doxygenu, přidejme do příkazu argument **-D_DOXYGEN_DOC=1**.
 - Výchozí typ sestavení je **RelWithDebInfo**. Chceme-li ho změnit (např. na **Release**), použijme argument **-DCMAKE_BUILD_TYPE=Release**.
 - Pokud se v **/usr/include** nenachází hlavičkové soubory knihovny **traceevent**, použijme argument **-D_TRACEEVENT_INCLUDE_DIR=[PATH]**, kde **[PATH]** nahradíme cestou k souborům knihovny.
 - Pokud se v **/usr/lib64** nenachází sdílené objekty knihovny **traceevent**, použijme argument **-D_TRACEEVENT_LIBS_DIR=[PATH]**, kde **[PATH]** nahradíme cestou ke sdíleným objektům knihovny.
 - Pokud se hlavičkové soubory **Qt6** nenachází ve **/usr/include/qt6**, použijme argument **-D_QT6_INCLUDE_DIR=[PATH]**, kde **[PATH]** nahradíme cestou k souborům **Qt6**.
 - Pokyny pro sestavení předpokládají, že zadaný adresář má stejnou vnitřní strukturu jako výchozí možnost (tj. obsahuje složky **QtCore**, **QtWidgets** apod.).
 - Pokud se v **../KS_fork/src** (jsme-li v kořenovém adresáři pro plugin, tj. adresáři **Naps**) nenachází hlavičkové soubory KernelSharku, použijme argument **-D_KS_INCLUDE_DIR=[PATH]**, kde **[PATH]** nahradíme cestou k hlavičkovým souborům KernelSharku.
 - Pokud se sdílené knihovny KernelSharku (**.so** soubory) nenachází v **/usr/local/lib64**, použijme **-D_KS_SHARED_LIBS_DIR=[PATH]** argument, kde **[PATH]** nahradíme cestou k sdíleným knihovnám KernelSharku.
3. Ve složce **build** spustíme příkaz **make**.
 - Pokud je třeba sestavit jen část pluginu, například pouze dokumentaci, můžeme vybrat konkrétní cíl.
 - Pouhé spuštění **make** vytvoří: *plugin* (cíl **naps**), *symlink* na sdílený objekt pluginu (cíl **naps_symlink**) a případně *Doxygen dokumentaci* (cíl **docs**), pokud tak bylo specifikováno v předchozím kroku.
4. (*Instalace*): Nahrajme plugin do KernelSharku, buď přes GUI, nebo při spouštění přes CLI s argumentem **-p** a cestou k symlinku nebo přímo k sdílenému objektu.

- *Důležité:* Vždy nainstalujeme/nahrajme plugin před načtením relace, ve které byl aktivní! Jinak může dojít k neúplnému načtení konfiguračního rozhraní nebo k pádu celého programu.

K odstranění vytvořených binárních souborů použijme `make clean`.

Sestavení a instalace pomocí KernelSharku

1. Ujistěme se, že všechny zdrojové soubory (`.c`, `.cpp`, `.h`, `.hpp`) pluginu Naps se nacházejí ve složce `src/plugins` v adresáři projektu KernelShark.
2. Zkontrolujeme, že soubor `CMakeLists.txt` v této podsložce obsahuje instrukce pro sestavení pluginu (inspirovat se můžeme podle jiných pluginů pro GUI). Pokud chceme sestavovat pro nemodifikovaný KernelShark, upravme tomu odpovídajícím způsobem sestavovací instrukce.
3. Sestavme KernelShark (pluginy se sestavují automaticky). Přes `make` lze sestavit i pouze plugin, pokud jsme již předtím vytvořili instrukce sestavení.
4. (*Instalace*): Spustíme KernelShark. Pluginy sestavené tímto způsobem se načítají automaticky. Pokud by se z nějakého důvodu nenačetly, najdeme sdílený objekt nebo symlink na něj, opět buď přes GUI, nebo přes CLI.

VAROVÁNÍ - načítání více verzí pluginu

Máme-li dvě nebo více sestavených verzí pluginu, *NE*načítáme je současně do KernelSharku. Pokud to uděláme, *dojde k pádu programu*. Používejme vždy jen jednu z verzí, *nikdy oboje najednou*.

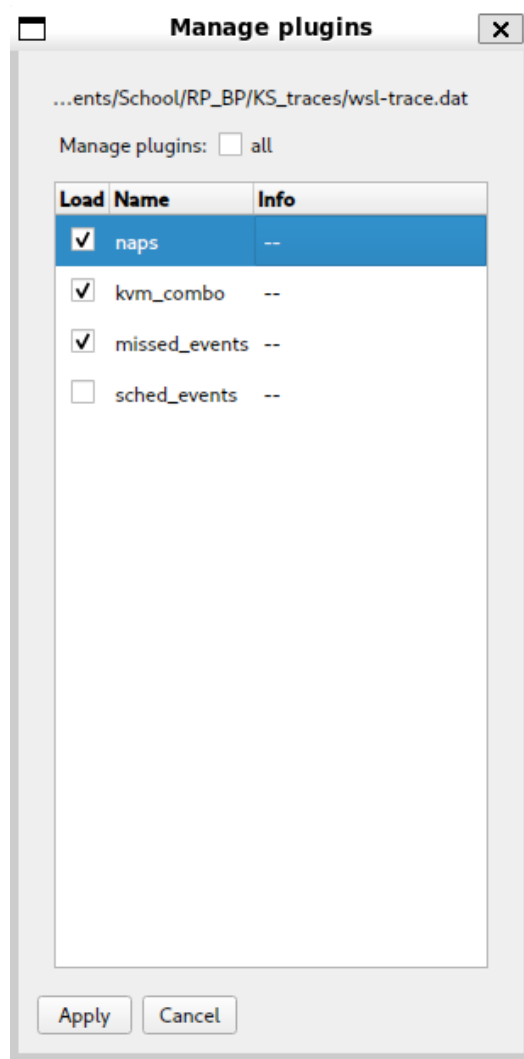
8.4.2 Naps v GUI

Jak zapnout Naps

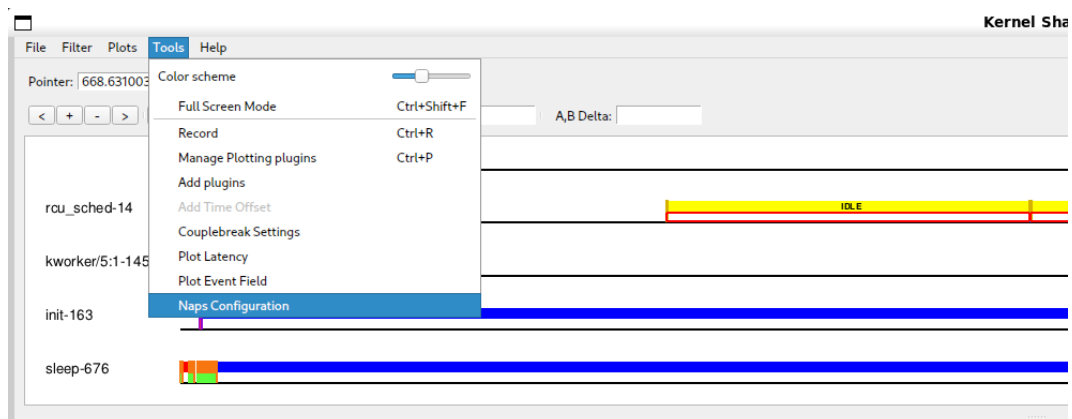
Plugin se zapíná velmi jednoduše. Stačí spustit KernelShark a přejít na položku v panelu nástrojů `Tools > Manage Plotting plugins`. Pokud byl plugin načten přes příkazový řádek, zobrazí se v seznamu pluginů jako zaškrtnuté políčko se svým názvem. Pokud ne, lze plugin dohledat pomocí tlačítka `Tools > Add plugin`. Stačí nalézt symlink, ale je možné vybrat i samotný soubor sdíleného objektu. Obrázek 8.2 ukazuje GUI pro zapínání a vypínání pluginů.

Konfigurace

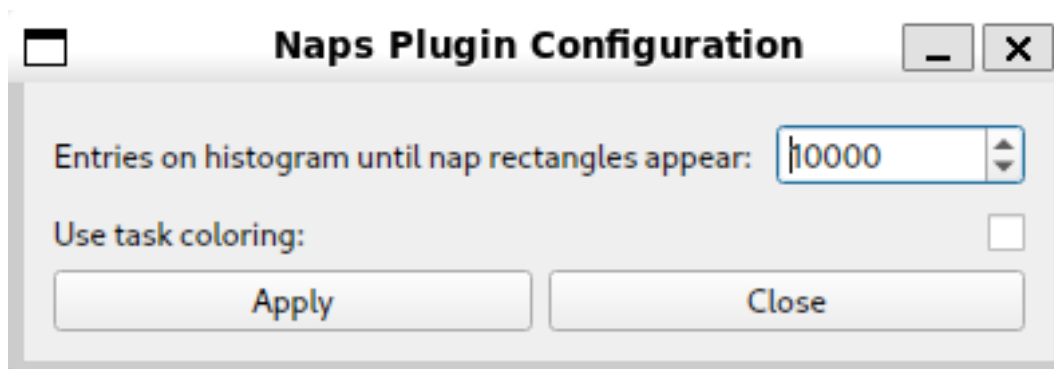
Konfigurace pluginu může být provedena kdykoliv, i před načtením jakýchkoliv trasovacích dat. Pro otevření konfiguračního okna stačí v hlavním okně zvolit `Tools > Naps Configuration`, viz obrázek 8.3. Vždy může být otevřeno jen jedno konfigurační okno. Konfigurační okno si lze prohlédnout na obrázku 8.4.



Obrázek 8.2 Okénko se správou pluginů se záznamem pro plugin Naps



Obrázek 8.3 Tlačítko na vyvolání konfiguračního dialogu pluginu Naps



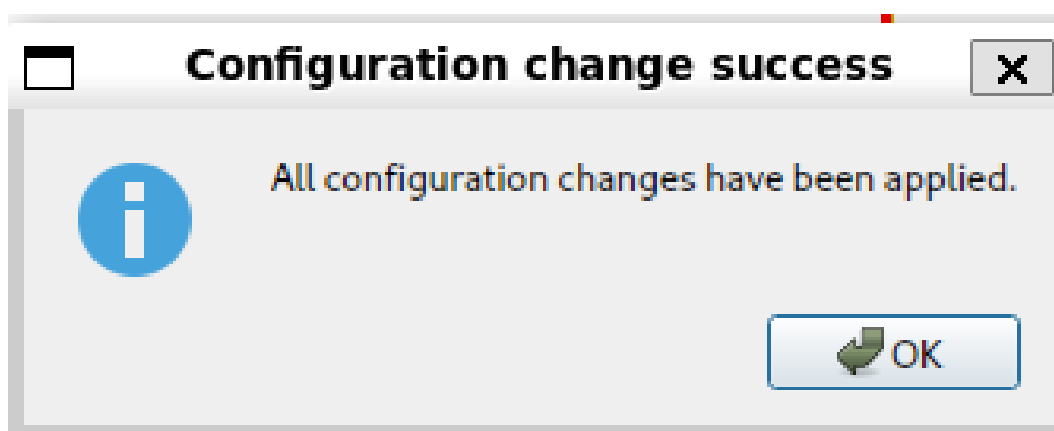
Obrázek 8.4 Konfigurační dialog pro plugin Naps



Obrázek 8.5 Hrany obdélníku mají stejnou barvu, jako jeho vnitřek



Obrázek 8.6 Hrany obdélníku používají barvu procesu



Obrázek 8.7 Dialog signalizuje úspěšnou změnu konfigurace pluginu

V konfiguračním dialogu lze pluginu přenastavit dvě věci. První je maximální počet viditelných záznamů v grafu trasování KernelSharku, po jehož překročení plugin nebude nic do grafu kreslit. Pokud je hodnota moc vysoká, pak dovoluujeme pluginu strávit pro více událostí více času kreslením. Hodnotu je dobré snížit i tehdy, pokud pocítujeme zpomalení výkonu při kreslení s mnoha záznamy. Výchozí hodnota tohoto nastavení je 10 000 (deset tisíc) záznamů.

Druhou věcí, kterou lze konfigurovat, je barvení vrchní a spodní hrany obdélníků vykreslených pluginem barvou, kterou KernelShark využívá pro daný proces, v jehož grafu je obdélník kreslen (viz obrázek 8.6). Toto se dá řídit zaškrtnutím políčkem. Ve výchozím nastavení je možnost vypnutá a je použita stejná barva, jako pro vnitřek obdélníku, viz obrázek 8.5. Pokud byl ale Naps sestaven pro nemodifikovaný KernelShark, toto políčko není v konfiguraci přítomno.

Kliknutím na tlačítko **Apply** provedené konfigurační změny potvrdíme a zavřeme tak i dialog. Zobrazí se i zpráva, že změna byla úspěšná, viz obrázek 8.7. Kliknutím na tlačítko **Close** nebo na křížek v hlavičce dialogu naopak změny zahodíme, i poté zavřeme dialog. Změny takto zahozené se při znovuotevření dialogu nevrátí, hodnoty ke konfiguraci budou stejné, jako hodnoty aktuální konfigurace.

Plugin si konfiguraci nikam sám neukládá a nespolupracuje s relacemi KernelSharku. Změny provedené před zavřením programu budou muset být znovu nastaveny při dalším otevření.

Naps v grafech

Zobrazená „zdřímnutí/naps“ procesů jsme již viděli na začátku dokumentace. Tato sekce je trochu více představí.

K zobrazení doby nečinnosti v grafu trasování je nutné mít v tomto grafu grafy procesů. Plugin pak automaticky nakreslí barevné obdélníky mezi událostmi `sched_switch` a `sched_waking/sched_waking[target]`. Barva je určena předchozím stavem procesu před přepnutím, například nepřerušitelný spánek je červený. Pokud jsme tak plugin nakonfigurovali, tak vrchní a spodní hrany obdélníků mají stejnou barvu jako proces a jeho záznamy. Pokud je obdélník dostatečně široký, tak je v něm i předchozí stav, napsán velkým písmeny celým názvem. Pro příklad obdélníků s různými šířkami se podívejme na obrázek 8.8. S obdélníky nelze nijak interagovat. Obdélníky budou viditelné tak dlouho, dokud přiblížení dvou záznamů tvořících obdélník dovolí, aby byly také viditelné.

Níže je seznam předchozích stavů (s anglickými názvy) a barev s nimi spjatých. Přidána jsou i krátká vysvětlení těchto stavů.

- Uninterruptible (disk) sleep - červená. Proces čeká na dostupnost zdrojů a nereaguje na signály.
- Idle - žlutá. Pro speciální vlákno kernelu, nelze převést do stavu Running.



Obrázek 8.8 Obdélníky, které nejsou dostatečně široké, nezobrazí název předchozího stavu

- Parked - oranžová. Pouze pro procesy kernelu, proces se dobrovolně vzdá CPU a označí se tímto stavem, aby mohl být spuštěn později.
- Running - zelená. Proces běží na nějakém CPU.
- Sleeping - modrá. Proces čeká na dostupnost zdrojů a reaguje na signály.
- Stopped - azurová. Procesu byl zaslán STOP signál.
- Tracing stop - hnědá. Proces se zastavil, jelikož je právě trasován či laděn.
- Dead - magenta/purpurová. Přechodný stav těsně předtím, než bude proces dealokován.
- Zombie - fialová. Proces skončil svou práci a čeká na uklizení rodičovským procesem.

8.4.3 Doporučení

Autor níže vypisuje pár doporučení při používání pluginu.

- Vždy načtěme Naps před načtením relace. Může to programu ušetřit nepříjemná překvapení.
- Pokud chceme dvě verze pluginu, sestavme je do různých adresářů.
- Opakujeme, že je doporučeno používat verzi pluginu s KernelSharkem, který obsahuje Couplebreak.
- Nedoporučuje se nastavovat příliš vysoký limit záznamů v grafu v konfiguraci. Jinak by plugin mohl používat příliš mnoho paměti kvůli velkému množství naráz kreslených nap obdélníků.
- I když relace v KernelSharku fungují, jsou trochu nestabilní. Tento plugin se snaží jejich vnitřní logiku nenarušovat, ale varuje, že pokud plugin není načten předem, mohou nastat neočekávané problémy. Například načtení relace s aktivním pluginem nepřidá do menu `Tools` odpovídající položku pro vyvolání konfiguračního okna.

8.5 Buggy a chyby

Žádné nejsou známy.

8.6 Rozšíření

Tato sekce představí některá rozšíření, která by plugin zjednodušila, nebo by dodala nové funkce.

Interakce

Obdélníky fungují dobře, ale možná by bylo dobré přidat nějakou interakci, která by nám o době nečinnosti dala další informace. Například by při přejetí myši mohl informační řádek KernelSharku, nebo nějaká plovoucí vysvětlivka, ukázat i rozdíl mezi časem přepnutí a probouzením. Nebo by mohlo být při dvojitém kliknutí zobrazeno okénko, ve kterém jsou nějaké statistiky a detaily o době nečinnosti. Přímé rozšíření tedy nedodáváme, ale tato nastínění snad ukazují, že rozšířit tento jednoduchý plugin lze.

Persistentní konfigurace

Stejně jako u Stacklooku, i zde by bylo pěkné mít schopnost ukládat si konfiguraci z nějaké relace KernelSharku. Zde je problém trochu mírnější, jelikož máme méně věcí, co lze konfigurovat. Ale i tak by bylo lepší nemuset při každém otevření KernelSharku a načtení pluginu manuálně konfiguraci měnit.

8.7 Kritika

Plugin je vcelku malý a autorovi se zdá, že funguje docela bezproblémově. Tu kritiku, kterou má, sdílí se Stacklookem, tj. *Konfigurační singleton a Verze pluginu pro nemodifikovaný KernelShark*. I zde platí stejné argumenty jako pro Stacklook.

8.8 Zhodnocení splnění požadavků

Plugin zřejmě splňuje první z obecných cíle pluginů, tj. vlastní adresář s instrukcemi k sestavení. Nezávislost na jiných pluginech není dokonale splněna, pokud plugin neběží v prostředí s Couplebreakem. Pokud tomu tak není, tak si s pluginem sched_events vzájemně škodí a jsou tak na sobě závislé tak, že se vzájemně zakazují. Tomu se bohužel nedá předejít, jelikož není jiný způsob, jak by každý z nich dokázal odvést svou práci.

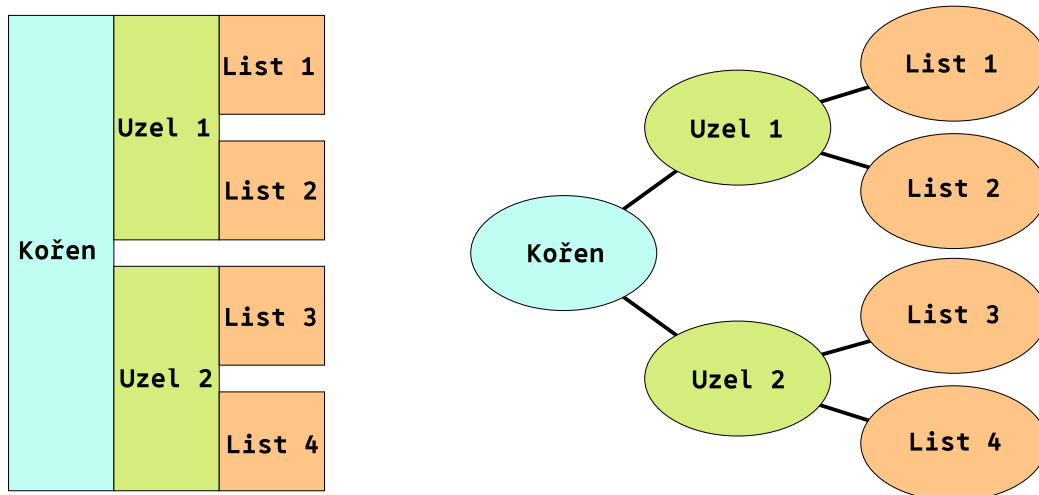
Jinak jsme v analýze postupovali tak, abychom každý z našich cílů splnili. Navíc jsme nepřišli na žádné další problémy při vytváření řešení. Tím jsme splnili i vlastní požadavky.

9 NUMA Topology Views

Kapitola se bude zabývat posledním z hlavních vylepšení této práce, tj. přidáním informací o NUMA topologii CPU na systému do KernelSharku. Tato modifikace pak bude hlavně sloužit k vylepšení analýzy trasovacích dat, jelikož budeme jednodušeji schopni určit namáhanou část topologie. Kapitola postupně představí cíle, analýzu řešení, návrh, uživatelskou dokumentaci, návrhy pro rozšíření, kritiku řešení a konečné zhodnocení splnění cílů této modifikace.

9.1 Cíle

- Modifikace bude umět zpracovat topologická data z XML souboru od programu Hwloc. Z tohoto souboru bude číst NUMA topologii systému.
- Zpracovaná topologická data budou zobrazena někde v hlavním okně. Místo zobrazení by mělo dovolovat přirozenou návaznost na CPU grafy. Ty mohou být přeuspořádány tak, aby respektovaly řazení v topologii.
- Pokud nemáme topologická data k dispozici pro nějaký stream, nebudeme topologii pro daný stream zobrazovat.
- Topologie budou zobrazovány jako stromy.
- Každý prvek stromu bude viditelně pojmenován. Pokud by jméno bylo příliš dlouhé, lze použít popisky při najetí myši a jinde zkratky.
- Topologické stromy nebudou zobrazovat NUMA uzly, pokud na systému detekuje Hwloc pouze jeden (a NUMA technologie je tedy nepřítomná/nevyužitá).
- Topologické stromy budou vždy zobrazovat alespoň jádra v topologii. Ta budou vždy obsahovat alespoň jeden procesor.
- Jádra budou zabarvena průměrnou barvou svých procesorů. NUMA uzly budou zabarveny průměrnou barvou jader, která jsou součástí NUMA uzlu. Barvy procesorů získáme z KernelSharku.
- Místo s topologickými stromy bude možné schovat přes GUI prvek.
- Modifikace bude mít konfigurační dialog, ve kterém si bude uživatel schopen vybrat soubor s topologickými daty pro každý otevřený stream a typ zobrazení topologie, tzv. „pohled“ - buď výchozí, nebo se zobrazením NUMA topologie jako stromu.
- Pokud nebude vybrána topologie, ale bude vybrán stromový pohled, bude namísto toho použit výchozí pohled.
- Vybrání souboru topologie s odlišným počtem CPU, než jsou v daném streamu tuto topologii nezobrazí, použije se výchozí pohled a uživatel bude o nesrovnalosti informován.
- Modifikace bude uložitelná do relací.



Obrázek 9.1 Blokový strom (vlevo) a klasická grafová reprezentace stromu (vpravo)

9.2 Terminologie

Níže jsou termíny, které tato modifikace používá. Některé termíny jsou přímo inspirované terminologií Hwlocu, některé jsou specifické pouze pro NUMA TV, některé obsahují termíny KernelSharku (ty vysvětleny nebudou).

- *Blokový strom* - Bloky vedle sebe, které reprezentují strom. Blok je obdélník a reprezentuje uzel. Hrany jsou reprezentovány dotykem bloků. Nejlépe ukázáno na obrázku 9.1.
- *GL plocha* - kreslicí OpenGL plocha používaná KernelSharkem na kreslení CPU grafů a grafů procesů.
- *Jádro* - Topologická struktura v Hwlocu obsahující jeden či více procesorů a je obsažena v NUMA uzlech. Na systémech bez hyperthreadingu je tento termín zaměnitelný s procesorem.
- *Logický index* - Index dán části topologie během jejího zkoumání Hwlocem. Společně s typem objektu (PU, jádro, NUMA uzel) pak tvoří unikátní identifikátor komponenty v dané topologii.
- *NUMA TV* - Zkratka pro „NUMA Topology Views“.
- *NUMA TV/konfigurační kontext* - Konfigurační objekt modifikace, který se stará o konfiguraci NUMA TV pro každý otevřený stream, tj. cestu k souboru topologie, kterou má stream načtenou (pokud vůbec), a který typ pohledu chce stream použít při načtené topologii.
- *OS index* - Index přidělen hardwarové komponentě operačním systémem. Nerespektuje topologii. Tyto indexy používá KernelShark pro nápisy u CPU grafů, tj. pokud máme zobrazen graf pro CPU 0, tak „0“ je OS indexem daného procesoru.
- *Pohled/typ pohledu* - výčtová třída pro vybrání způsobu zobrazení topologie v KernelSharku. NUMA TV definuje dva pohledy:

- Výchozí pohled, který ignoruje topologii.
 - „NUMA tree“ /stromový pohled, který pro topologii zobrazí topologický strom v topologické ploše.
- *(Processorový) modul* - Fyzické místo, kde jsou instalovány procesory (dle Hwlocu). Také součást topologie v Hwlocu, může obsahovat jeden i více NUMA uzlů, zároveň jeden modul může být součástí jednoho i více NUMA uzlů.
 - *PU/procesor* - Hwloc termín pro to samé, co jsou podle KernelSharku CPU. Mohou být seskupeny v jádru, každé jádro má aspoň jeden PU. PU je zkratka z anglického „processing unit“.
 - *Topologie* - Struktura s detailní organizací paměťových modulů, procesorů, jiných zařízení na systému a obsahující nějaké dalších informace, jako například jméno stroje či celkovou paměť. Tuto strukturu dokáže zachytit Hwloc.
 - *NUMA topologie* - Topologie, která se zajímá o NUMA uzly na systému, která jádra jsou k těmto uzlům přidružena/patří těmto uzlům, a které procesory jsou součástí těchto jader.
 - *Topologická plocha* - Grafická plocha s topologickým stromem a možnou úlohovou výplní. Je součástí wrapperu topologické plochy. Lze přímo namapovat na třídu v kódu: `KsStreamTopoWidget`.
 - *Topologický strom* - Skupina grafických objektů, které dohromady tvoří blokový strom bez kořene. Topologické stromy jsou vždy součástí topologické plochy. První vrstvou jsou NUMA uzly, po nich následuje vrstva jader, poslední je vrstva procesorů (ta se v topologické ploše ale nezobrazuje). Topologické stromy NUMA TV vždy vytváří z nějaké zkrácené topologie.
 - *Úlohová výplň* - Dodatečný prázdný prostor pod topologickým stromem v topologické ploše. Je přítomen, pokud KernelShark ukazuje grafy úloh pro nějaký stream.
 - *Vizualizace topologie* - Někaké grafické zobrazení topologie. V NUMA TV zaměnitelné s topologickým stromem.
 - *Wrapper topologických ploch/plocha pro zobrazení topologií* - Grafická plocha nalevo od GL plochy, obaluje topologickou plochu.
 - *Zkrácená topologie* - Reprezentace topologie s pouze nejdůležitějšími částmi pro topologickou vizualizaci od NUMA TV. Jedná se o třívrstvou strukturu, kde v první vrstvě jsou logické indexy NUMA uzlů, v druhé vrstvě jsou logické indexy jader, ve třetí vrstvě jsou logické indexy procesorů spárovány s OS indexy procesorů.

9.3 Analýza

Tato sekce se pokusí zachytit postup, kterým se dostaneme k implementaci řešení. Jedná se o techničtější analýzu než analýza z kapitoly *Obecná analýza a stanovení požadavků*. Zároveň se někdy odkážeme na *Couplebreak* a části jeho řešení, abychom se zbytečně neopakovali.

9.3.1 Hwloc

Se zobrazováním dat topologie od Hwlocu si nejprve uvědomíme, že ke KernelSharku přidáváme novou závislost, právě Hwloc. Přidání jednoduše docílíme úpravou souborů sestavení pro CMake. Naštěstí pro nás dává dokumentace Hwlocu [28] přímý návod, jak dodání závislosti docílit a KernelShark sám už obsahuje jiné závislosti, jejichž instrukcemi sestavení se můžeme inspirovat. Verzi Hwlocu vybereme co možná nejnovější a stabilní, v době psaní této práce je to verze 2.11.

Na řadu přichází nahrání topologie z XML souboru do datové struktury, se kterou pak může Hwloc pracovat. Dokumentace Hwlocu nám opět pomůže a my můžeme přes Hwloc funkce a makra rovnou načíst XML soubor jako topologii. Z té si nejprve získáme všechny OS indexy procesorů/PU a poté přes každý z nich zjistíme i kterému jádru a NUMA uzlu PU patří. Logické indexy PU, jader a NUMA uzlů si pak uložíme do zkrácené topologie. Abychom neztratili spojení mezi logickými indexy procesorů a jejich OS indexy, uložíme si do zkrácené topologie i OS indexy pro PU. Zkrácenou topologii můžeme implementovat pomocí neseřazených map a indexy můžeme reprezentovat pomocí celých čísel. Zkrácenou topologii použijeme proto, že Hwloc topologie obsahuje informace navíc, které nás u NUMA TV nezajímají, například uspořádání cache pamětí, nebo jméno stroje, na kterém byla topologie zachycena.

9.3.2 Hlášení chyb

Během nahrávání topologie se může stát nějaká chyba, například nebyl XML soubor ve správném formátu. I ve zbytku modifikace pak mohou nastat chvíle, kdy bude potřeba ošetřit a ohlásit nějakou chybovou či informační situaci. KernelShark sám výjimky nevyhazuje, namísto toho používá zprávy v terminálu nebo informační dialogy. NUMA TV bude používat návratové kódy a psaní do terminálu pro hlášení nějak zajímavých situací, jako třeba chyb.

9.3.3 Konfigurační dialog

Poté, co jsme schopni pracovat s Hwlocem a získat si pro nás zajímavá data, se můžeme začít soustředit na vytvoření konfigurace NUMA TV. Začneme s GUI pro uživatelskou interakci s konfigurací. Zde si můžeme i rozmyslet, co bude součástí konfigurace, kterou bude tento dialog měnit.

Všimněme si podobností s konfigurací pro Couplebreak 7.3.5. I v této modifikaci chceme mít nastavení pro každý stream zvlášť. Můžeme se tedy konfiguračním dialogem Couplebreaku inspirovat a pozměnit jenom to, co pro každý ze streamů konfiguruje. Naše cíle vyžadují alespoň konfigurovatelnou cestu k XML souboru topologie a typ pohledu, tj. „jak naložit s načtenou topologií“.

Pohledy navíc cíle definují dva, výchozí a stromový. Výchozí pohled už z názvu napovídá, že bude výchozí hodnotou konfigurace pro pohledy. Pohledy můžeme implementovat přes rádiová tlačítka, pak budeme schopni mít vybranou jen jednu možnost pro nějakou skupinu tlačítek.

Výběr XML souboru lze zjednodušit použitím souborového dialogu od Qt a filtrovat pro soubory s příponou `.xml`. My pak jenom musíme vytvořit nějaké výběrací **Select** tlačítko, kterým souborový dialog vyvoláme. Ze souborového dialogu pak uložíme cestu k souboru XML jako textový řetězec. Ten pak uživateli zobrazíme, aby bylo jasné, že nějaká topologie byla vybrána. Na vymazání vybrané cesty pak dodáme tlačítko **Clear**. Výchozí hodnotou cesty k souboru bude přirozeně prázdný text, kdy není žádný soubor vybrán.

Speciální pozornost dáme tlačítku **Apply**. To totiž nejenže změny aplikuje, ale před jejich aplikací i zkontroluje některé požadavky, které cíle požadují. Pokud je vybrán stromový pohled, ale nebyl vybrán topologický soubor, pak konfigurace vynutí pohled výchozí, jelikož není co zobrazovat ve stromovém pohledu. Pokud vybereme soubor s topologií o N CPU, ale konfigurovaný stream má M CPU a zároveň M se nerovná N , pak konfigurace opět použije výchozí pohled a uživatel bude o nevhodném souboru topologie informován na chybovém výstupu. Tlačítko **Cancel** může fungovat jako dřív, tedy prostě dialog zavře bez použití změn.

Tlačítko vyvolávající konfigurační dialog umístíme vedle tlačítka pro konfigurační okénko Couplebreaku, tj. do submenu **Tools**. Pokud nebude načten žádný stream, toto tlačítko zobrazí informační okénko se zprávou, že pro konfiguraci modifikace je nutné mít otevřen alespoň jeden stream.

9.3.4 Konfigurace NUMA TV

V předchozí podsekcí jsme se už trochu seznámili s tím, jak se bude konfigurace chovat, hlavně z grafického pohledu. Nyní se zamyslíme nad tím, jak by se měla chovat mimo grafické prostředí.

Nejprve se zamyslíme nad tím, jak reprezentovat pohledy. My implementujeme jenom stromový pohled na NUMA topologii, ale teoreticky jich může být více, například pohled na procesorové moduly. Proto pohledy implementujeme jako výčtový typ. Tak se omezíme jen na nějakou konečnou množinu hodnot a budeme mít v kódu zřetelněji popsané speciální číselné hodnoty.

Dokud uživatel nezmění konfiguraci v dialogu z výchozích hodnot, pak modifikace nebude ukládat žádnou konfiguraci pro stream, jelikož by to bylo zbytečné. Pokud ale uživatel vybere validní XML soubor s topologií, pak se situace mění. Aplikace konfigurace pak donutí NUMA TV vytvořit novou konfiguraci pro stream, včetně interpretace topologického XML souboru Hwlocem. Po ní nám zbyde zkrácená topologie, kterou také uložíme do konfigurace pro stream. Z toho nám vyplývá, že datová struktura konfigurace NUMA TV pro nějaký stream bude obsahovat prvky pro uložení cesty k XML souboru, uložení typu pohledu a uložení zkrácené topologie.

Pokud uživatel vymaže v konfiguračním dialogu cestu k topologickému souboru, pak není konfigurace pro stream potřeba. Pro nás to znamená návrat k výchozím hodnotám konfigurace (i kdyby byl vybrán stromový pohled, tak bez cesty k souboru topologie toto NUMA TV změní na výchozí pohled). Abychom zbytečně neukládali nepotřebnou konfiguraci, tak ji v této situaci smažeme.

Dalším problémem, na který se zaměříme, je aktualizace topologie. Ta se stane, když uživatel změní cestu k topologickému souboru a nebo změní typ pohledu v konfiguračním dialogu a změny aplikuje. Pokud změní cestu, pak lze považovat starou konfiguraci topologie za zbytečnou a tak ji smažeme. Můžeme ji pak kompletně nahradit novou konfigurací. Pokud se změnil jen pohled, pak změníme jen ten. V každém případě ale požádáme NUMA TV o překreslení topologických vizualizací (vizualizační část je popsána v nižší sekci 9.3.5). Pokud není topologie validní (např. odlišný počet CPU ve streamu a topologii), pak návratovým kódem rozhodneme, jak se má KernelShark zachovat tj. jestli má do terminálu napsat nějakou chybovou zprávu.

Pokud uživatel nepřidá nový otevřený stream, ale místo toho otevře pouze jeden nový (tj. použije tlačítko **Open Trace File** namísto tlačítka **Append Trace File**), konfigurace všech streamů zahodíme.

Nakonec, namísto ukládání konfigurací ke každému streamu zvlášť si pořídíme manažera konfigurací, tzv. NUMA TV (konfigurační) kontext. Ten si bude pro každý stream pamatovat jeho specifickou konfiguraci. Krom toho bude mít i API pro přidávání, odebírání, a aktualizaci konfigurací pro každý stream. Jelikož mezi streamy mohou být „díry“, tj. ne každý stream musí mít aktivní NUMA TV konfiguraci, bude nejlepší i toto vyřešit mapou, klidně i nesetříděnou, jelikož je zbytečné mít konfigurace uspořádané. Kontext bude mít i možnost dát nějakému žadateli observer ukazatel na uloženou konfiguraci a ptát se, zdali konfigurace existuje. Funkci k získání observeru i explicitně pojmenujeme tak, aby bylo jasné, že tento ukazatel nemá být jakkoliv použit k řízení životnosti. Navíc bude ukazatel brát ukazovanou hodnotu jako konstantní, tj. neměnitelnou, měnit konfiguraci bude schopen pouze NUMA TV kontext jakožto její vlastník.

9.3.5 Grafická reprezentace topologie

Vyřešili jsme konfiguraci i jak ji může uživatel měnit. Zatím ale vůbec nemá efekt. Posuňme se k vizualizaci topologie.

Topologický strom

Nejprve si upřesníme, jak budeme topologii vizualizovat. Cíle nám již celkem podrobně předdefinovaly, že se má jednat o strom s popisky prvků, ve kterém budou vrcholy jádra a NUMA uzly, pokud je na systému detekováno NUMA uzlů více než jen jeden. My už jen přidáme detaily k tomu, jak přesně tato vizualizace bude vypadat. Namísto stromů složených z uzlů a hran použijeme blokový strom, viz obrázek 9.1. Tím nebudeme muset řešit kreslení hran, jen pozice bloků a mezery mezi nimi. Topologie má v Hwlocu stromovou strukturu, jejímž kořenem je stroj, na kterém byla zachycena. Stroj pro nás není moc důležitý (spojili bychom ho s nějakým streamem), ve stromu tedy nebude. S šikvným umístěním vizualizace v KernelSharku bychom ani nemuseli kreslit vrcholy pro procesory. Jelikož nechceme kreslit pouze jeden NUMA uzel, pak topologický strom bude ve skutečnosti vždy lesem - buď budou jednotlivé stromy zakořeněny ve dvou či více NUMA uzlech, které nebudou spojeny vrcholem pro stroj, nebo zobrazíme jenom několik vrcholů pro jádra. Implicitně ale všechny vrcholy v tomto lese sdílí jediného předka, stroj - my jsme jen odsekli nepotřebné části.

Barvy máme také předdefinovány. Barvu procesoru získáme z KernelSharku, který už takové generuje. S dodatečným vylepšením *Get Colors* pak můžeme tyto barvy získat jednodušeji.

Popisky vrcholů ve stromu budou jednoduché zkratky, aby se do bloku vešel text. Psát je budeme jako ostatní text v KernelSharku, tj. nebudeme je nijak rotovat, či zvětšovat. Navíc dodáme plovoucí vysvětlivky (anglicky „tooltip“), které se zobrazí po přejetí myši přes blok, čímž odstraníme nutnost vždy zjišťovat významy zkratk v uživatelské dokumentaci a hledání textu v bloku, pokud je příliš velký a nemůže zobrazit popisky. Za zkratky a někde do vysvětlivky přidáme logický index dané komponenty topologie. Popisky budou vždy v centru bloku. Pokud bude strom obsahovat NUMA uzly, tak do popisku i vysvětlivky pro vrchol jádra přidáme prefix pro určení NUMA uzlu, kterému jádro patří. Pokud nebude blok pro NUMA uzel viditelný a nebude se nám chtít čekat na zobrazení vysvětlivky, budeme schopni ihned určit NUMA uzel nějakého jádra. Jelikož bloky mohou mít různé barvy, tak zajistíme, že dle tmavosti použité barvy budeme používat buď černý, nebo bílý text.

Výšky bloků topologického stromu budou odvozeny od výšek grafů v GL ploše a mezerami mezi nimi. Hodnoty mezer mezi bloky ve vrstvě můžeme získat z GL plochy KernelSharku, která je má uložené a používá je při kreslení všech grafů.

Se stromem nebudeme schopni nijak interagovat, kromě zobrazení vysvětlivek.

Místo pro topologický strom

Topologický strom máme navržen. Nyní přichází otázka, kam jej umístit. Už jsme zmínili „šikové umístění“, díky kterému nebudeme muset ani zobrazovat bloky pro procesory. Ještě předtím se ale krátce zamysleme, kde by viditelný topologický strom byl nejpříjemnější. Umístění vlevo od seznamu událostí, vpravo od něj nebo pod ním nejsou vhodná. Topologický strom nemá se seznamem nic společného. Umístění mezi seznamem a grafem trasování je také nevhodné, jelikož by hlavní okno muselo být vertikálně rozděleno ještě více než doposud. Protože obrazovky jsou často orientovány na šířku, tak bychom si zmenšili jak seznam, tak graf trasování, což by zhoršilo příjemnost čtení v hlavním okně. Stejný argument pak platí pro umístění nad graf trasování. Cíle nám ale udávají umístění v hlavním okně. Pak bychom mohli vizualizaci topologie umístit nalevo nebo napravo od grafu trasování. Ani jedno z umístění není špatné, jak vpravo, tak vlevo bychom mohli topologický strom zobrazit tak, aby se napojoval na grafy CPU, kterými bychom reprezentovali procesory v topologii. Umístění vlevo má ale jednu výhodu. Nápis grafů v KernelSharku jsou nalevo od samotného grafu a pokud i my umístíme strom vlevo od grafu trasování, pak budou nápisy pro topologický strom blízko nápisů pro grafy, což je vizuálně jednotnější, než umístění vpravo. Oči uživatele nemusí běhat z jedné strany okna na druhou, mohou se pohybovat jen na levé straně, což bude pro uživatele příjemnější.

Vytvoříme tedy místo pro topologický strom, nazveme jej topologická plocha. Růst stromu orientujeme doprava, tj. nejprve zobrazíme NUMA uzly, pak vpravo jádra a vpravo od nich budou v grafu trasování následovat CPU. Jelikož procesy nemají na topologii vliv, budou nás zajímat jen CPU grafy. KernelShark nejprve vždy zobrazuje CPU grafy a až poté grafy úloh. Topologická plocha tak bude začínat topologickým stromem a pod něj vloží úlohovou výplň, jsou-li přítomny nějaké grafy úloh ve streamu, pro který byl tento strom zobrazen. Abychom

mohli blokový strom jednodušeji nakreslit, přeuspořádáme CPU grafy tak, aby se směrem dolů zvedaly logické indexy, nikoli OS indexy, jak to dělal KernelShark doposud. K vytvoření topologického stromu v topologické ploše pak jednoduše pro stream, který vlastní topologickou plochu, získáme konfiguraci z NUMA TV kontextu a pokud chceme stromový pohled, pak použijeme zkrácenou topologii ke konstrukci. Pokud žádný stream nechce zobrazit topologii (není načtená, nebo je nakonfigurován výchozí pohled), pak nebudeme strom vytvářet a topologická plocha bude prázdná.

Wrapper topologických ploch

Každý stream bude mít vlastní topologickou plochu, jelikož každý stream má vlastní CPU grafy. Nyní tedy musíme zobrazit několik topologických ploch, pokud máme v KernelSharku otevřeno více streamů. Pro seskupení topologických ploch vytvoříme jiný grafický objekt, wrapper topologických ploch. Wrapper bude přímým sousedem grafu trasování. Topologické plochy v něm budou uspořádány odshora dolů, s mezerami na hranicích streamů. Při rolování v grafu trasování budeme rolovat i ve wrapperu, aby naše stromy byly neustále napojeny na CPU grafy. Wrapper a jemu podřízené prvky nebudou vůbec zobrazeny, pokud každý stream chce zobrazit svou topologii výchozím pohledem (či nemá načtenou topologii).

Zatím jsme se nebavili o velikosti místa pro topologické plochy (resp. jejich wrapper, plochy mohou svou velikost a velikost svých prvků odvozovat od něj). Výška wrapperu bude stejná jako výška grafu trasování. Bez exaktních výzkumů optimálního poměru šířky topologického stromu a grafu trasování ale můžeme odhadnout, že pokud graf trasování dříve zabíral 100 % své vymezené šířky v hlavním okně, tak by asi neuškodilo zabrat pětinu této šířky. Tak bude graf trasování stále hlavním prvkem hlavního okna vedle seznamu událostí a topologie bude mít dost prostoru na zobrazení našeho topologického stromu.

Kreslení topologických stromů a úprava výplní

Ke kreslení topologických stromů a upravování úlohových výplní využijeme dvě „redraw“ funkce - `cpReDraw` a `taskReDraw`, obě specifické pro nějaký stream. První se volá vždy, když mají být z nějakého důvodu překresleny CPU grafy, například pokud chceme jeden z nich schovat. Druhá z funkcí má podobný úkol, ale týká se grafů procesů. Obě funkce upravíme - `taskReDraw` bude měnit velikost úlohové výplně v topologické ploše upravovaného streamu, pokud se počet grafů procesů změní. Funkce `cpuReDraw` bude schopna měnit topologický strom za jiný, měnit uspořádání CPU grafů a nakonec také upraví úlohovou plochu. Obě tyto funkce zavoláme i při úspěšné změně konfigurace, abychom její efekt viděli ihned. Přirozeně pak budeme měnit prvky topologické plochy i při jiných změnách grafů, jako právě při jejich schovávání či zviditelnění.

Skrývací tlačítko

Cíle nám ještě určují, že máme být schopni místo s vizualizací topologie skrývat. K tomu vytvoříme jednoduché tlačítko, které umístíme nalevo od wrapperu topologických ploch, abychom neoddělovali topologický strom od CPU grafů. Na kliknutí myši toto tlačítko skryje wrapper a graf trasování se natáhne až k tlačítku.

Na další kliknutí se opět zobrazí wrapper a graf trasování se zkrátí. Tlačítko bychom měli nějak pěkně stylizovat, aby bylo jasné, k čemu slouží. To jde vcelku jednoduše přidáním symbolů < a >, které budeme měnit podle stavu viditelnosti wrapperu. Pro zvýraznění tlačítka nějakou nerušivou barvou použijeme zelenou. Stejně jako wrapper, toto tlačítko nebude vůbec viditelné, pokud má každý stream v konfiguraci vybrán výchozí pohled (tedy buď topologii zobrazit nechce, nebo žádnou topologii nemá).

9.3.6 Relace

NUMA TV uloží pod identifikátor streamu vybraný typ pohledu a cestu k XML souboru (nebo žádnou cestu neuloží v případě nevybraného souboru v konfiguraci). Inspirovat se můžeme ostatním kódem pro ukládání relace, například pro ukládání Markerů A a B. Stejně se inspirováme i pro načítání NUMA TV z relačního souboru.

Nyní zbývá vybrat momenty, kdy ukládat NUMA TV a hlavně kdy relační data pro modifikaci načítat. Nelze načítat kdykoliv, jelikož bychom jinak nezastihli vykreslení CPU grafů, tedy i jejich možnou reorganizaci, což by vizualizaci pokazilo. Načítat relační data proto budeme před načtením grafů, abychom vykreslení CPU stihli. Ukládání není závislé na pořadí ukládání ostatních částí relace, ale kvůli symetrii s načítáním jej zařadíme před ukládání grafů.

9.3.7 Zařazení mezi existující kód

Nakonec musíme zjistit, kde budou části NUMA TV žít. Jelikož jsme hluboce spjati s grafem trasování, nejlepším místem pro konfigurační kontext i topologické plochy bude právě třída pro něj. V ní máme jednoduchý přístup k „redraw“ funkcím, jelikož jsou její součástí a pokud rozšíříme existující API, můžeme dovolit jiným částem KernelSharku komunikovat s NUMA TV, mají-li ke grafu trasování přístup. Konfigurační dialog pak může být samostatná třída vyvolávaná hlavním oknem při stisknutí příslušného tlačítka. Hlavní okno pak bude mít na starosti komunikaci mezi dialogem a konfiguračním kontextem. Hlavní okno také určuje pořadí ukládání relačních dat.

9.3.8 Zamítnutá alternativní řešení

Tato část je souhrnem několika nápadů, které se objevily během vymýšlení řešení či přímo během implementace, ale byly nakonec zavrženy z různých důvodů. Představen bude jak návrh řešení, tak důvod zamítnutí.

Konfigurační kontext jako singleton

Během prvotních návrhů byl NUMA TV kontext původně singletonem. Důvod byl jednoduchý - je nutné vždy znát konfiguraci a chceme vždy jen jednu. A dlouhou dobu během implementace se s kontextem opravdu pracovalo jako se singletonem. Nicméně KernelShark singletony nepoužívá a skrytých závislostí přibývalo. Proto bylo nakonec rozhodnuto o refaktORIZACI kontextu do součásti grafu trasování, kde žily i topologické plochy.

Kreslení stromu do GL plochy

Jedním z prvních návrhů pro umístění topologického stromu byla GL plocha v grafu trasování. Cílem bylo posunout všechny ostatní kreslené objekty a vložit strom topologie nalevo. Čím více se ale zjistilo o práci s touto plochou, tím spíše se ukázalo, že toto byl špatný nápad. Pro úpravu v této ploše bylo odhadnuto enormní množství úprav, oproti prvotnímu nápadu „prostě vše posunout“, na který neměla plocha dostatečně mocné API. Návrh byl proto zamítnut.

Graf vytvořen přes QTreeWidget

Namísto blokového stromu, který lze vytvořit i jen pomocí vertikálních a horizontálních Qt rozložení spolu s textovými krabičkami, byl zvážen i `QTreeWidget`, který KernelShark používá v okénku jednoduchých filtrů událostí. Nicméně předdefinovaný vzhled stromu a rozložení vrcholů v něm byly označeny za nedostačující a bylo vybráno řešení s rozloženími a textovými krabičkami.

9.4 Vývojová dokumentace

Tato sekce chce čtenáři načrtnout strukturu modifikace, podle které se lze v modifikaci orientovat. Také dodá krátký návod pro vývojáře, kteří by chtěli s NUMA TV pracovat ve svých pluginech či změnách pro KernelShark.

NUMA TV představuje úplně novou funkcionalitu a dá se označit za nový modul pro KernelShark, který je úzce spojen s modulem hlavního okna, jelikož využívá data a funkce grafu trasování a jeho GL plochy. Je také vázán na modul relací, ovšem slaběji, pouze skrze API.

Názvy

Stejně jako u Couplebreaku, i zde zmíníme názvy pro nové prvky v kódu modifikace. Zde neexistuje pouze jedna posloupnost znaků, kterými můžeme nový kód identifikovat. Namísto toho jsou všechny novinky pojmenovány tak, že někde v jejich jméně je buď `numatv`, `topology`, nebo zkratkovitě `topo`, tato tři označení mohou být i psána velkými písmeny. Tak je tomu v nových API, ale i v čistě implementačních funkcích, pokud nebyla značka v ohraničujícím komentáři sama ohraničena uvozovkami (viz vysvětlení ohraničujících komentářů 4.2.1).

9.4.1 Struktura modifikace

Modifikaci rozdělíme na moduly. Pro detailnější informace a implementační detaily je doporučeno prohlédnout si samotný kód a technickou Doxygen dokumentaci KernelSharku, jejíž novou součástí jsou i části o modifikaci.

Ke každému modulu přepíšeme i soubory, ve kterých je modul implementován, a prvky modulu jako veřejné funkce, či třídy. Prvky mimo hlavičkové soubory, nebo označeny za privátní pro třídu jsou brány jako implementační detaily a nebudou zde popsány (lze je najít uvnitř souborů modulu).

V kódu a CMake instrukcích modifikace používá značku `NUMA_TV` v ohraničeních změn.

Konfigurace

Modul řeší konfiguraci NUMA TV pro každý stream, včetně konfiguračního kontextu, přes který je řízen vznik, změny a zánik konfigurací. Součástí modulu je i okénko pro konfigurační dialog.

- **Soubory:** *KsWidgetsLib.hpp/cpp*, *KsMainWindow.hpp/cpp*, *KsNUMATopologyViews.hpp/cpp*, *KsTraceGraph.hpp/cpp*
- **Třídy:**
 - *KsNUMATVDialog* - grafické okno, konfigurační dialog pro NUMA TV.
 - *KsTopoViewsContext* - NUMA TV kontext, tj. manažer konfigurací pro streamy.
 - *StreamNUMATopologyConfig* - konfigurace NUMA TV pro nějaký jeden stream.
 - *TopoViewType* - výčtová třída pro typy pohledů v NUMA TV.
- **Typové aliasy:**
 - *ViewTopologyPair* - pár reprezentující pohled a cestu k topologickému souboru.
 - *TopoPUIs* - pro mapování logických indexů procesorů na jejich OS indexy. Součást zkrácené topologie.
 - *TopoCorePU* - pro mapování logických indexů jader na TopoPUIs. Součást zkrácené topologie.
 - *TopoNodeCorePU* - pro mapování logických indexů NUMA uzlů na TopoCorePU. Představuje zkrácenou topologii.
- **Nové API** třídy *KsTraceGraph*: nová funkce *getNUMATVContext*, získá referenci na NUMA TV kontext s konfiguracemi streamů.

Tento modul je také důvodem změny souboru *CMakeLists.txt* v adresáři zdrojového kódu KernelSharku, jelikož soubory jej obsahující jsou nové.

Propojení s Hwlocem

Mini-modul se stará zejména o vytváření zkrácených topologií z dat Hwlocu. Úzce spolupracuje s modulem Konfigurace. Je vydělen z modulu Konfigurace kvůli specifitě své práce. Modul řeší čistě implementaci a nelze s ním komunikovat skrze veřejná rozhraní.

- **Soubor:** *KsNUMATopologyViews.cpp*

API zkrácených topologií

Modul je souhrnem pár funkcí, které mohou se zkrácenou topologií nějak pracovat, například z ní vypočítat nějaké hodnoty.

- **Soubory:** KsNUMATopologyViews.hpp/cpp
- **Funkce:**
 - *numatv_count_PUs* - spočítá, kolik PU, tj. procesorů, je ve zkrácené topologii.
 - *numatv_count_cores* - spočítá, kolik jader je ve zkrácené topologii.
 - *numatv_filter_by_PUs* - vrátí zkrácenou topologii, jejímiž prvky jsou pouze procesory specifikované v argumentu a prvky topologie obsahující tyto procesory.

Vizualizace

Tento modul řeší grafické znázornění zkrácené topologie, umístění topologických stromů v hlavním okně a jejich správné napojení na CPU grafy. Součástí je i skrývací tlačítko wrapperu topologických ploch.

- **Soubory:** KsStreamNUMATopology.hpp/cpp, KsMainWindow.cpp, KsTraceGraph.hpp/cpp
- **Třídy:**
 - *KsTopologyScrollArea* - upravuje implementaci zpracování rolování kolečkem na myši resp. tyto události ignoruje.
 - *KsStreamNUMATopology* - reprezentuje topologickou plochu a topologický strom.
- **Nové API třídy *KsTraceGraph*:**
 - *numatvClearTopologyWidgets* - funkce zničí topologické plochy a topologické stromy v nich.
 - *numatvHideTopologyWidget* - funkce dle argumentu nastaví viditelnost wrapperu topologických ploch.

Relace

Modul se stará o integraci NUMA TV do relací KernelSharku, tj. o ukládání a načítání hodnot pro konfiguraci této modifikace.

- **Soubory:** KsSession.hpp/cpp, KsMainWindow.cpp
- **Nové API třídy *KsSession*:**
 - *saveTopology* - funkce uloží data NUMA TV konfigurací do relačního souboru.
 - *loadTopology* - funkce načte NUMA TV konfigurace z dat v relačním souboru.

9.4.2 Úpravy mimo hlavní logiku modifikace

Funkce v *KsPlot* jmenném prostoru

Přidané funkce pomáhají hlavně s rozhodováním mezi černou a bílou barvou dle intenzity nějaké barvy. Obě použity v modulu *Vizualizace*. Přidané funkce jsou následující:

- *blackOrWhite* - rozhodne, zdali je pro nějakou intenzitu barvy více výrazná černá nebo bílá barva.
- *getColorIntensity* - spočítá intenzitu barvy.

Úpravy instrukcí sestavení

Následující soubory byly přidány, aby bylo možné NUMA TV připojit ke KernelSharku a přidat Hwloc jako závislost:

- *(build/)FindHwloc.cmake* - nový soubor s detailními instrukcemi pro hledání Hwlocu na systému.
- *CMakeLists.txt* - do tohoto souboru pro sestavení byly přidány instrukce k nalezení Hwlocu, tj. pro vynucení závislosti KernelSharku na Hwlocu. (Tento soubor je v kořenovém adresáři pro KernelShark, *KS_fork*.)
- *(src/)CMakeLists.txt* - zde byly nové soubory NUMA TV přidány do kompilace GUI knihovny pro KernelShark. K této knihovně zde byl připojen i Hwloc. (Tento soubor je v adresáři pro zdrojový kód KernelSharku, *KS_fork/src*.)

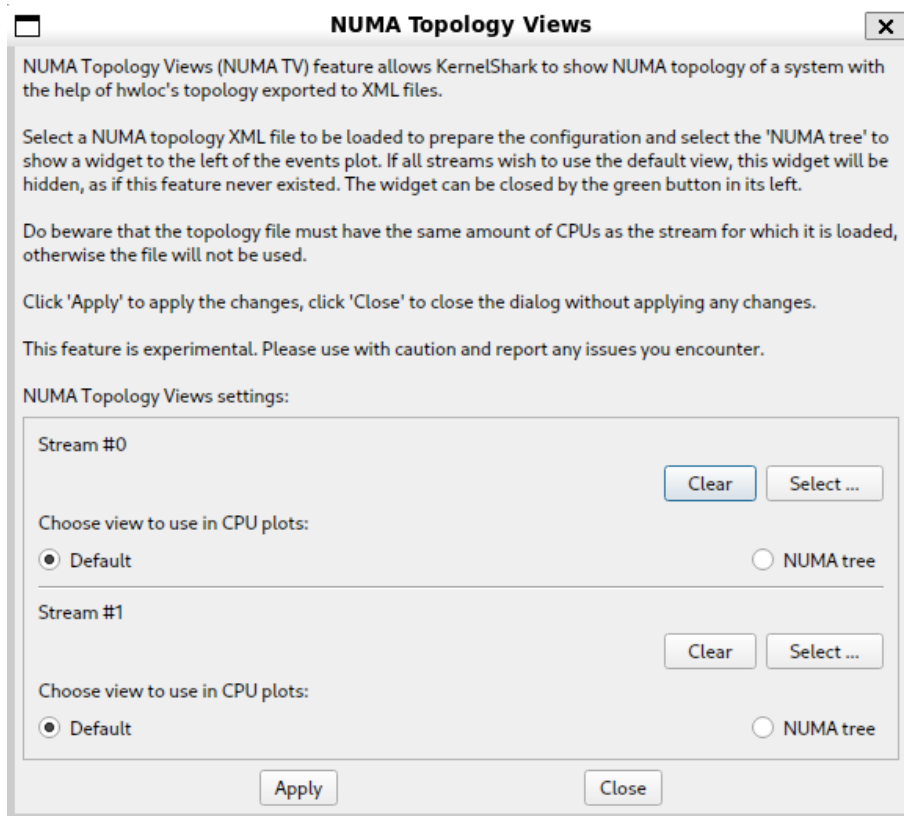
Cesty jsou relativní vůči adresáři *KS_fork*, tj. kořenovém adresáři KernelSharku v tomto projektu.

9.4.3 Vytvoření pro KernelShark s NUMA TV

Jako nový modul KernelSharku se snaží být modifikace oddělena od ostatních modulů, kromě modulu hlavního okna a relací. Pokud tedy vyvíjíme pro KernelShark a neřešíme změny těchto modulů, lze NUMA TV kompletně ignorovat. Modul navíc neřeší trasovací data, takže jakékoli změny dat netýkající se identifikace CPU, jako například změny v datech od modifikace Couplebreak, bude NUMA TV ignorovat.

Pluginy s modulem nijak přímo spolupracovat nemohou, ale pokud získají ukazatel na hlavní okno a dostanou se k objektu grafu trasování, pak je možné použít některou z funkcí přidanou k tomuto objektu, jako třeba získání NUMA TV kontextu. Za použití funkcí v kódu pak samozřejmě odpovídá vývojář a musí si dát pozor, aby implementaci nerozbil.

Při vývoji pluginů a dalšího kódu pro KernelShark je samozřejmě také možné použít nové veřejné funkce a třídy od NUMA TV, pokud si vložíme správné hlavičkové soubory přes *#include*. Chceme-li například vytvořit nějakou rozšířenou konfiguraci NUMA TV, pak budeme nejspíš používat či měnit třídu *StreamNUMATopologyConfig* ze souboru *KsNUMATopologyViews.hpp*.



Obrázek 9.2 Neaktivní NUMA TV v KernelSharku není vizuálně přítomna

9.5 Uživatelská dokumentace

9.5.1 Stav při otevření KernelSharku

NUMA TV není (skoro) nijak pozorovatelná při spuštění KernelSharku. Zůstává skryta i při načtení trasovacích dat nebo i pokud načítáme relaci, kde konfigurace NUMA TV nebyla uložena, nebo jsou pro všechny streamy v relaci nastaveny výchozí pohledy (tj. nezobrazení topologie). Aby měla modifikace nějaký viditelný vliv, musíme ji k tomu nejprve nakonfigurovat. Obrázek 9.2 zobrazuje relaci KernelSharku bez aktivní NUMA TV.

9.5.2 Konfigurace

Abychom mohli NUMA TV konfigurovat, bylo do submenu **Tools** v hlavním menu přidáno tlačítko **NUMA Topology Views** na zobrazení konfiguračního dialogu. Pokud nebyl zatím načten žádný stream, zobrazí se vyskakovací okénko, které na tento fakt upozorní. Konfigurační dialog nebude v této situaci zobrazen.

Pokud máme načtený alespoň jeden stream, pak se konfigurační dialog po stisknutí tlačítka zobrazí. Dialog obsahuje vysvětlení modifikace v horní části, pak rolovatelnou plochu s konfiguracemi NUMA TV pro každý otevřený stream a nakonec dvě tlačítka, „Apply“ a „Close“. Tlačítko „Close“ zavře konfigurační dialog a neuloží provedené změny. Tlačítko „Apply“ se při stisknutí pokusí uložit provedené změny pro každý změněný stream, případně vytvoří konfigurace nové.

Každý stream má pak vůči NUMA TV dva prvky ke konfiguraci, tj. cestu k

XML souboru s topologií od Hwlocu a pohled, který má KernelShark pro danou topologii použít. V současnosti existují dva podporované pohledy, pohled výchozí a pohled stromový (v dialogu označeny jako „Default“ pro výchozí pohled a „NUMA tree“ pro pohled stromový).

K výběru topologického souboru slouží tlačítka „Clear“ a „Select ...“. Tlačítko „Clear“ nastaví cestu na prázdný text. Tlačítko „Select ...“ zobrazí dialog pro výběr XML souborů na systému. Souborový dialog vždy začíná v domovském adresáři uživatele (standardně adresář `/home/[USER]`, kde `[USER]` je jméno uživatele), ale pokud je již vybrán nějaký topologický soubor, tak dialog začne v adresáři s tímto souborem. Vybrané XML soubory nemusí být validní pro daný stream, v tom případě se toto zjistí při pokusu aplikovat změny konfigurace, pokus selže, tj. konfigurace bude stejná jako před pokusem o změnu, a uživatel o této situaci bude informován v terminálu. Nevalidní soubory buď vůbec nejsou interpretovatelné Hwlocem, nebo obsahují odlišný počet procesorů než stream. Pokud nemáme vybranou cestu k XML souboru, nebo jsme ji smazali, pak aplikace změní NUMA TV konfiguraci pro daný stream nastaví na výchozí hodnoty, tj. prázdnou cestu a výchozí pohled (i kdyby byl předtím vybrán stromový pohled).

Výchozí pohled značí výchozí chování KernelSharku, což je ignorování jakýchkoli topologických informací. Stromový pohled zobrazí NUMA topologii systému zachycenou ve vybraném XML souboru konfigurace streamu jako strom (o vizualizaci později).

Opětovným otevřením konfiguračního dialogu uvidíme hodnoty současných konfigurací streamů. To znamená, že kdybychom změnili v konfiguračním dialogu nějaké hodnoty, ale změny neaplikovali, tak jsou tyto změny ztraceny, konfigurační dialog vždy při otevření zobrazí aktuální použité hodnoty konfigurací.

9.5.3 GUI

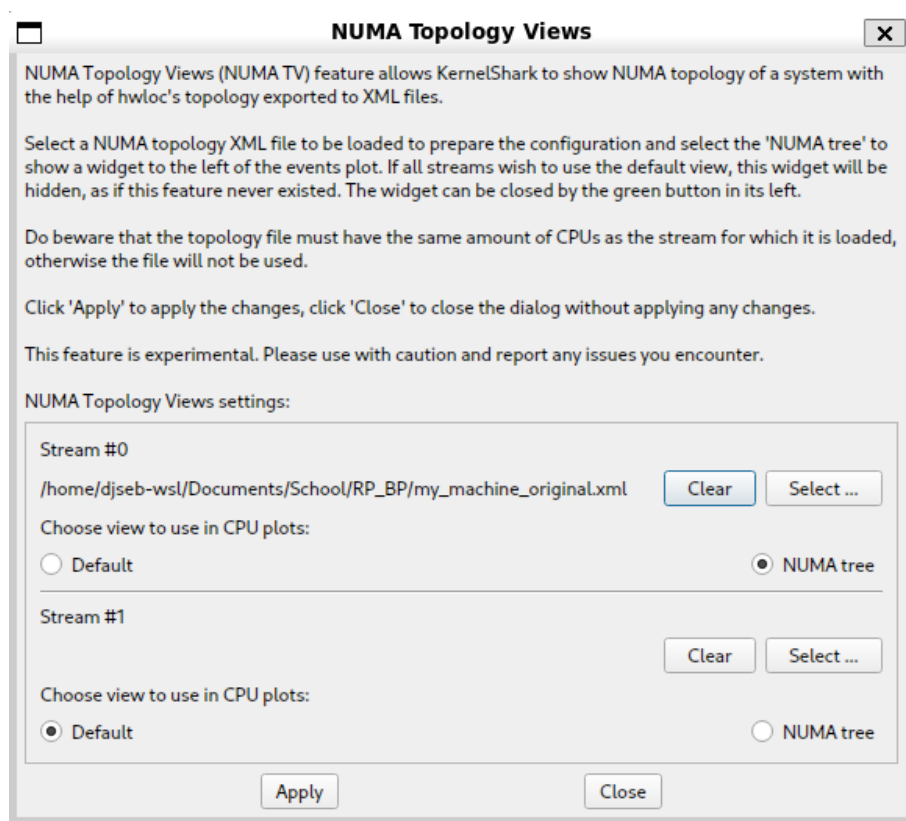
Kde jsou zobrazeny topologie

Obrázek 9.3 zobrazuje relaci KernelSharku se dvěma streamy, přičemž jeden z nich používá stromový pohled na svou NUMA topologii.

Plocha pro zobrazení topologií je zobrazena vždy, když alespoň jeden stream žádá o jiný než výchozí pohled ve své konfiguraci. Pokud stream zobrazuje alespoň některé ze svých CPU grafů, pak plocha pro zobrazení topologií zobrazuje topologický strom pro tento stream (viz níže). Pokud je plocha pro zobrazení topologií zobrazená, ale stream chce použít výchozí pohled, pak se v ploše nezobrazí pro tento stream nic, i kdyby nějaké CPU grafy ukazoval.

Aby topologické stromy zůstaly napojeny na CPU grafy v grafu trasování i pokud jsme se v něm posunuli níže, tak se při rolování v grafu trasování posouvá i obsah plochy pro zobrazení topologií. V ní samotné nijak rolovat nelze. Pokud je hlavní okno KernelSharku příliš úzké, zobrazí se pro tuto plochu horizontální rolovací posuvník. Ovšem v takové situaci je spíše doporučeno rozšířit okno KernelSharku.

Pokud je plocha pro zobrazení topologií viditelná, je viditelné i skrývací zelené tlačítko nalevo od této plochy, kterým můžeme plochu schovat a nebo znovu zviditelnit. Text tlačítka je buď „<“ pro schování nebo „>“ pro zobrazení plochy. Tlačítko v akci můžeme vidět na obrázcích 9.4.



Obrázek 9.3 Aktivní NUMA TV pro jeden stream z dvou otevřených

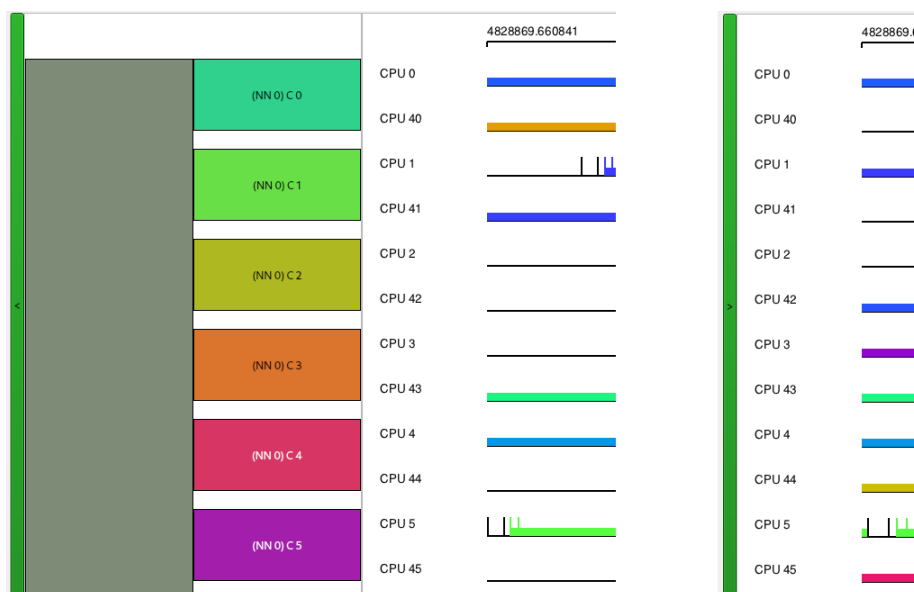
Topologický strom

Topologický strom je blokový strom, který je zobrazen od prvního CPU grafu až po poslední CPU graf nějakého streamu v grafu trasování. Pokud je otevřeno více streamů, které navíc vyžadují stromový pohled ve své konfiguraci, pak každý strom začíná u prvního CPU grafu svého streamu.

Součástí vykresleného topologického stromu jsou pouze vrcholy pro NUMA uzly a jádra, kterých jsou CPU z grafu součástí. Pokud tedy některé CPU grafy schováme, tak i zmenšíme zobrazení stromu na relevantní části topologie, tj. ty, které obsahují CPU viditelných CPU grafů. Topologický strom lze rozdělit na dvě vrstvy, na „C“ vrstvu pro jádra a „NN“ vrstvu pro NUMA uzly. Strom je navíc zobrazen tak, že vrstvy jdou zleva doprava a vpravo od topologické plochy jsou CPU grafy. Pak můžeme plynulým pohledem zprava doleva zjistit, jakému jádru i jakému NUMA uzlu CPU patří. Vrstva NN je schována, pokud by byl zobrazen pouze jeden vrchol z této vrstvy, tj. všechna CPU v grafu trasování náleží jednomu NUMA uzlu.

Vrcholy/bloky topologického stromu jsou vždy zabarveny průměrnou barvou svých přímých pravých následníků. Vrcholy pro jádra používají k průměru barvy CPU z KernelSharku. Značkou každého vrcholu je buď černý nebo bílý text. To je dáno světlostí použité barvy bloku.

Značky ve vrcholech topologického stromu jsou zkratky NN, nebo C, dané vrstvou stromu, které vrchol patří. Vedle nich je pak zobrazen i logický index prvku topologie v této vrstvě. Dohromady pak text unikátně značí prvek v topologii. Pokud je NN vrstva viditelná, přidává se před značku vrcholu jádrové vrstvy do



Obrázek 9.4 Viditelná plocha pro zobrazení topologií (vlevo) a stejná plocha skryta skrývajícím tlačítkem (vpravo)

závorek značka vrcholu NUMA uzlu, který vlastní jádro tohoto vrcholu. Pokud přejedeme myší přes vrchol v topologickém stromě, zobrazí se nám plovoucí vysvětlivka, ve které je delší název pro vrchol. Například pro vrchol označený „(NN 1) C 34“ se zobrazí „Core 34 in NUMA Node 1“, nebo pro „NN 3“ se zobrazí „NUMA Node 3“. Obrázek 9.5 ukazuje vysvětlivky při práci.

Přeuspořádání CPU grafů

Je možné, že topologický strom očekává pro svou strukturu jiné uspořádání CPU grafů, než jaké by KernelShark obvykle provedl. Obvykle, tj. i ve výchozím pohledu, KernelShark uspořádá CPU dle indexů, které získaly od operačního systému. U stromového pohledu jsou uspořádány pomocí svých logických indexů a prvků topologie, kterým CPU patří. Nejprve se třídí podle logického indexu NUMA uzlu, pak podle logického indexu jádra a až poté podle logického indexu CPU. Setříděná sekvence by pak mohla vypadat následovně jako (0, 0, 0), (0, 0, 4), (0, 1, 1), (1, 2, 2), (1, 2, 3), kde složky trojice jsou právě logické indexy (první jsou NUMA uzly, pak jádra, pak procesory/CPU).

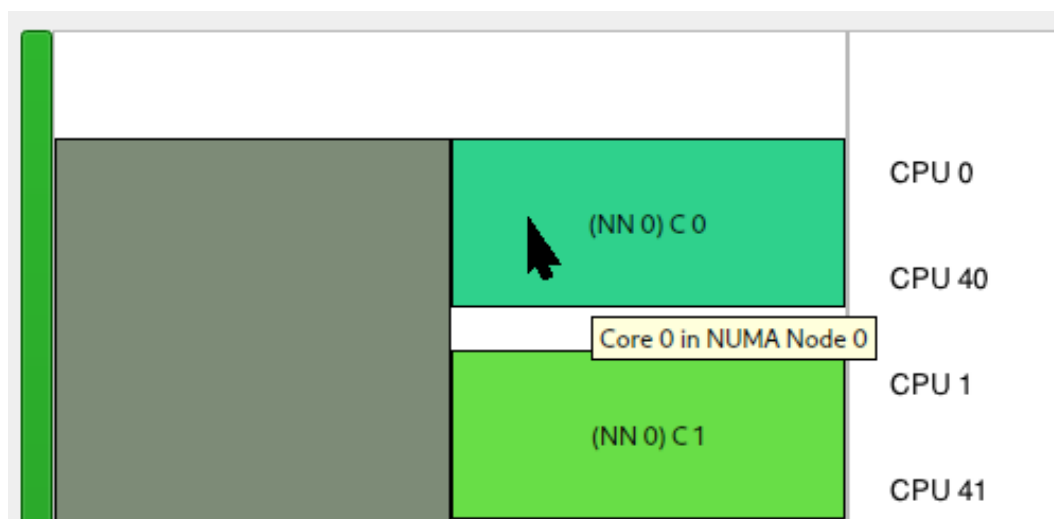
V CPU grafech a zbytku KernelSharku se stále používají OS indexy pro CPU. Pokud jsou logické indexy stejné jako OS indexy, pak se uspořádání CPU grafů nemění.

Znázorníme situaci reorganizace na obrázku 9.6. Zobrazujeme výchozí řazení podle OS indexů a grafy přeuspořádané kvůli topologickému stromu.

Reorganizací CPU grafů jednoho streamu nevynutíme reorganizaci CPU grafů jiného streamu.

9.5.4 Podpora relací

Konfigurace streamů pro NUMA TV mohou být uloženy do relací. Každý stream má pak v relačních datech uložen vybraný pohled a cestu k topologickému



Obrázek 9.5 Vysvětlivka zobrazená při přejetí kurzoru myši nad vrcholem v topologickém stromu

souboru. Importováním relace se automaticky nakreslí i topologické stromy, žádají-li to nějaké streamy.

9.6 Buggy a chyby

Jediný bug, o kterém autor ví, je, že při načítání relace s aktivní NUMA TV je možné, že se nezobrazí celý topologický strom pro stream, tj. některá poslední CPU nebudou pokryta tímto stromem. Příčina ani řešení nejsou známy.

9.7 Rozšíření

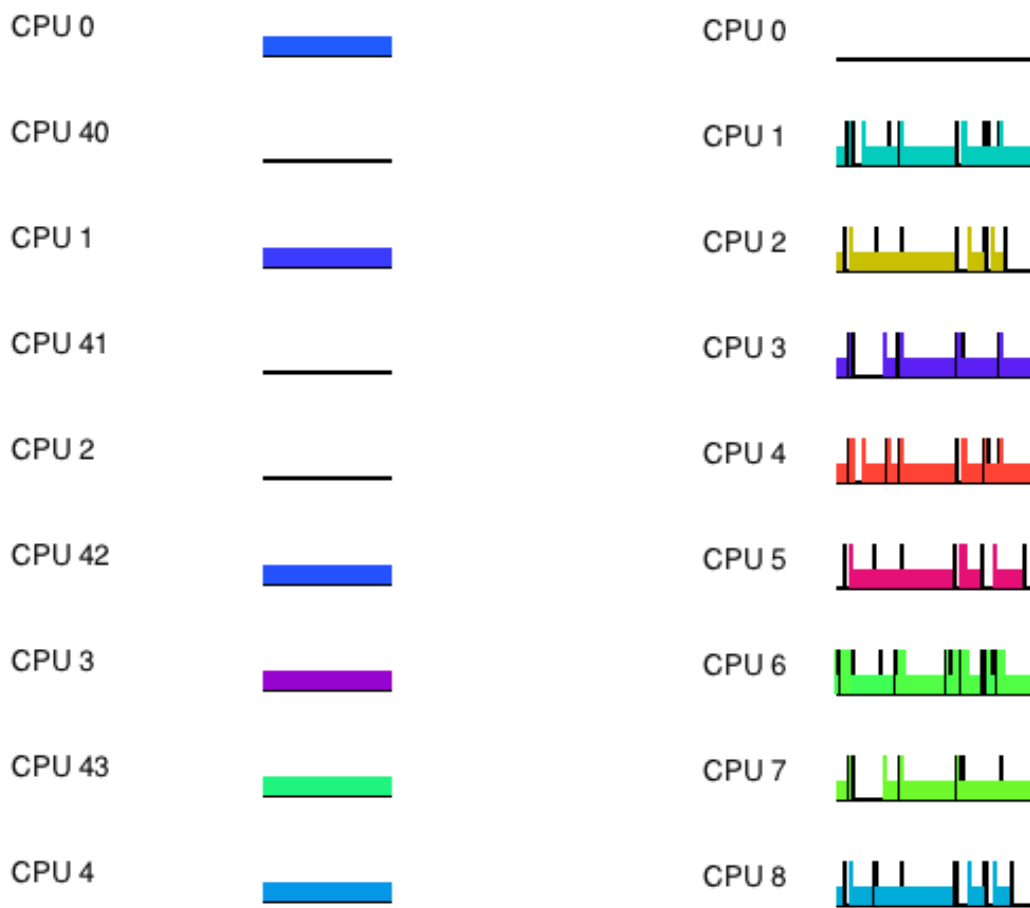
Tato sekce představí některá rozšíření, která by modifikaci zjednodušila, nebo by dodala nové funkce. Upozorňujeme, že se mohou objevit rozšíření, která upravují čistě implementaci, například zlepšují čitelnost kódu - u těchto se očekává znalost kódu vylepšení. Takové části budou vždy označeny v první větě jejich sekce.

Více pohledů

NUMA TV dokáže v současnosti zobrazit pouze topologii, která dělí systém, tj. stroj, podle NUMA uzlů, jader a procesorů. Ačkoliv je modifikace hůře rozšiřitelná (viz kritika o rozšiřitelnosti 9.8), šlo by s trochou práce přidat další pohledy a další vizualizace topologie. Jednou z možností je zobrazení topologie procesorových modulů, kde by se namísto NUMA uzlů použily procesorové moduly. Tím bychom mohli například zjistit, který z nich je nejvíc namáhaný. Navíc by šlo k této vizualizaci opět použít nějaký strom, klidně i nějaký odlišný od blokového.

Skládání částí stromu

Původně měly být stromy skladatelné, tj. kliknutím na vrchol ve stromu by byl vrchol skryt a grafy s ním spojené schovány, ale jelikož se nejednalo o zásadní



Obrázek 9.6 Uspořádání grafů se mění podle pohledu v konfiguraci

funkcionalitu, nebyly dodány. To ale neznamená, že jej nelze doplnit. Nástinem řešení by bylo přidat akci na událost kliknutí levého tlačítka myši, kterou se aktivuje kód podobný tomu, který je spuštěn při schování CPU grafů přes dialog. Tím bychom skryli jak CPU grafy, tak i bloky stromu topologie. Pak by bylo ještě nutné dodat nějaký grafický prvek pro schované vrcholy do topologické plochy, kterým bychom schovaný blok opět zviditelnili.

Toto rozšíření se pojí s předchozím, jelikož by bylo i možné dodat něco jako „stromový pohled +“, který by dělal to samé, co nynější stromový pohled, ale dodal by topologickému stromu schopnost být skládán.

Barva uzlů topologického stromu

Barvení NUMA uzlů v topologickém stromu není v praxi moc hezké, jelikož barvy jader se smíchají většinou do hnědé nebo šedé. Možná by šlo najít lepší barvení, například dát blokům NUMA uzlů nějaké dobře oddělené barvy (pro tři uzly třeba červenou, zelenou a modrou) a barvy jader by se pak jen lišily odstínem této hlavní barvy, třeba by byly jejich bloky temnější s rostoucím logickým indexem.

Konfigurační dialogy by mohly být zobecněny

(Tato úprava očekává znalost kódu implementace.)



Obrázek 9.7 Obecný formát konfiguračních dialogů pro NUMA TV a Couplebreak.

Couplebreak i NUMA TV mají velmi podobné konfigurační dialogy, viz obrázek jejich formátu 9.7. Kód pro každý vytváří separátní třídu, ale šlo by je sjednotit do jedné třídy, které bychom při konstrukci pro specifickou modifikaci předali chování tlačítka **Apply** a obsah konfigurací pro každý stream. Rozšíření by pak hlavně snížilo duplicitní kód, který tyto konfigurační dialogy sdílí, zároveň by ale i představovalo použitelný dialog pro případné další modifikace, které by se týkaly jednotlivých streamů.

9.8 Kritika

V této sekci autor kriticky zhodnotí své řešení. Každá kritika má nadpis a popis a dále buď obsahuje obranu proti ní, nebo souhlas s předneseným problémem. Upozorňujeme, že se může objevit kritika, která se týká čistě implementace, tj. jenom toho, jak je řešení napsáno, nikoli řešení samotné. Taková kritika bude obsahovat v první větě svého popisu označení, že očekává znalost kódu implementace.

Nemožnost upravovat aktivní topologie

V našem řešení se skoro nikdy neupravují konfigurace a vizualizace topologie, namísto toho se skoro vždy vytvoří nový objekt a starý se zahodí. To je hlavně dáno tím, že tyto operace se nedějí často, nemají tedy velkou cenu časovou ani prostorovou. Řešení je navíc implementačně jednodušší. Akce úpravy jsou pak ale spíše akce smazání a přidání nových objektů.

Dialogy namísto standardních výstupů

KernelShark sice používá standardní výstup na některé zprávy, nicméně by bylo možná lepší použít vyskakovací okénka pro NUMA TV zprávy, které se nyní

tisknou na standardní výstup či standardní chybový výstup. Se standardními výstupy se lépe pracuje, proto byly zvoleny, nicméně pro dokonalejší řešení by byly grafické zprávy lepší, alespoň pro zprávy informačního typu.

Topologie jako součást datové struktury streamu

Je možné se zamyslet nad tím, proč není NUMA TV konfigurace součástí datové struktury streamů jako Couplebreak, je-li na ně silně vázána. To je férová kritika a tento přístup by mohl fungovat. Přístup se samostatnými konfiguracemi byl zvolen jelikož streamy byly navrženy jako zdroje dat a metadat trasování. Couplebreak pak k těmto datům mohl přidat kontrolní proměnné, které vylepšily dělení trasovacích dat. Vedle toho NUMA TV modifikace není s trasováním prakticky tak spojená, jenom chce ukázat topologii systému vedle trasování, aby mohl uživatel příjemněji analyzovat chování systému v jednom programu. Identifikátory streamů používá hlavně pro navázání topologických stromů na CPU grafy, ale trasování a jeho data ji už tak moc nezajímají.

Rozšiřitelnost

(Tato kritika očekává znalost kódu implementace.)

Současná implementace NUMA TV není tak snadno rozšiřitelná, jak by mohla být. Pokud chceme zobrazit další topologie, tak nestačí pouze přidání nových pohledů, typů vizualizace a propojení s konfigurací, jelikož modifikace očekává třídy specifické pro NUMA topologie.

Více rozšiřitelné řešení by mohlo mít nějaké rodičovské třídy pro vizualizace a konfigurace, se kterými by pracoval zbytek KernelSharku vedle nových pohledů a tlačítek v konfiguraci. Třídy pro NUMA topologie by byly dětmi těchto rodičů a musely by splnit nějaká rozhraní, aby se jim správně zobrazovaly jejich stromy.

9.9 Zhodnocení splnění požadavků

Modifikace není u žádného z otevřených streamů aktivní, dokud není zapnuta skrze konfigurační dialog. Uživatel tak vůbec o NUMA TV při práci vědět nemusí, může si maximálně všimnout tlačítka, kterým právě zapne konfigurační dialog. Navíc, pokud soubor s relačními daty neobsahuje data pro NUMA TV, tak bude modifikace jednoduše používat výchozí hodnoty, program kvůli tomu nespadne ani nenahlásí chybu. Tím splňujeme obecný požadavek *minimálního vlivu*. NUMA TV se dá označit za úplně nový modul pro KernelShark, navíc jenom rozšiřuje chování u míst, kde byly modifikovány původní funkce a struktury, nemění jejich původní záměry. Takže splňuje i obecný požadavek *chování se jako rozšíření*. Obecný požadavek na *stylovou podobnost* se musí ověřit čtením kódu provedených změn, nicméně rychle lze například nahlédnout, že NUMA TV používá stejné velikosti písmen pro třídy, lokální proměnné a prvky tříd jako zbytek KernelSharku.

Vlastní požadavky, tj. cíle, jsme splnili navržením řešení v analýze právě podle nich.

10 Dodatečná vylepšení

Kapitola pojednává o vylepšeních, která vznikla kvůli ostatním vylepšením, nebo jako rychlá zlepšení chování KernelSharku. Pro každé z nich bude stručně popsán návrh, řešení, použití a případná varování, kritiky či jiné poznámky.

10.1 Aktualizace kódu zaškrťovacích políček

Nejpřímějším zlepšením byla aktualizace grafického kódu, aby využíval novější Qt API pro zaškrťovací políčka. V novém API se nahrazuje signálové funkce `QCheckBox::stateChanged` za `QCheckBox::checkStateChanged`. Hlavní změna je v argumentu značící zaškrtnutí - předtím stačilo dodat argument typu `int`, od Qt 6.7 ale nová funkce vyžaduje jednu z enumerovaných možností specifických pro `QCheckBox`.

Aktualizace nakonec spočívala pouze v nahrazení signálu `stateChanged` na `checkStateChanged` a použití výčtových hodnot (dle původního čísla) namísto pouze celých čísel.

KernelShark původně vynucoval v sestavení Qt verze 6.3, nyní vyžaduje alespoň verzi 6.7, aby mohl využít novější signál pro zaškrťovací políčka.

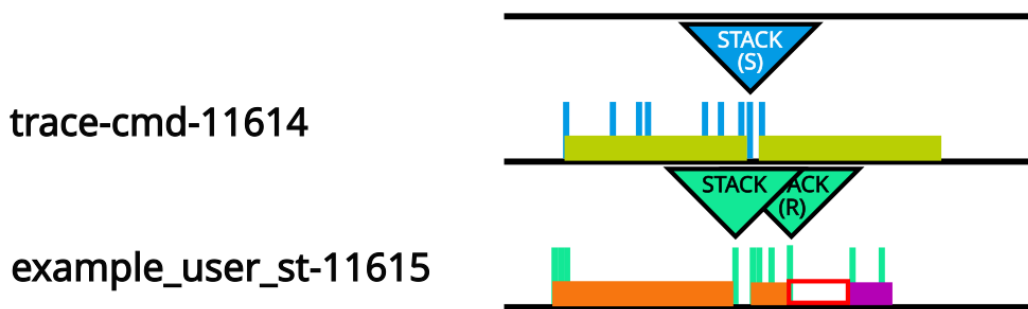
Změněné soubory: nejvyšší *CMakeLists.txt* KernelSharku (v `KS_fork` adresáři), *KsTraceViewer.hpp/cpp*, *KsCaptureDialog.hpp/cpp*, *KsMainWindow.hpp/cpp*. Značkou modifikace v C++ kódu a CMake instrukcích je `UPDATE_CBOX_STATES`.

Pokud mají v plánu vývojáři KernelSharku či jeho pluginů dále pracovat s KernelSharkem, musejí tedy použít Qt6 verze alespoň 6.7.0 či vyšší.

10.2 Zpřístupnění barev užívaných v grafu

Modifikace se týká pouze zpřístupnění barevných tabulek, které KernelShark používá pro streamy, CPU a procesy. Díky zpřístupnění pak mohou tyto tabulky využívat i jiné části programu nebo i pluginy. Přirozeně se jedná o malé úpravy, lokalizované v souboru *KsGLWidget.hpp*, s kódovou značkou `GET_COLORS`. K využití této modifikace stačí mít přístup k GL objektu a zavolat nové metody.

K využití přes pluginy se váže *varování* - pokud si KernelShark uloží do relace plugin, který využívá tuto modifikaci, ale načtení pluginu není dokonalé, program při první snaze o získání hodnoty z jakékoliv z tabulek spadne. Plugin je nedokonale načten vždy, pokud KernelShark načte relaci s daným pluginem, ale ten není předem explicitně načten uživatelem, tedy skrze argumenty při spouštění přes CLI nebo načtení přes grafické okno v GUI. Další možnou podmínkou je, že plugin není postaven jako oficiální pluginy KernelSharku, tedy během sestavování KernelSharku samotného. Tato podmínka ovšem nebyla rigorózně otestována a je to spíše pouhá domněnka. Chybě se lze vyhnout následujícími způsoby: buď uživatel vždy explicitně načte plugin, nebo plugin nebude tyto tabulky využívat, nebo bude plugin obsahovat výchozí hodnotu, kterou použije namísto tabulek při načtení z relace - barevné tabulky se využijí až později, například až pokud si je uživatel zapne v konfiguraci pluginu.



Obrázek 10.1 Stacklook tlačítko využívá barvu, kterou KernelShark udělil procesu.

Tuto modifikaci využívají pluginy Stacklook a Naps pro barvy procesů, a modifikace NUMA Topology Views pro barvy procesorů.

Příklad: Stacklook nabízí možnost barvit tlačítka dle barev procesů, kterým patří, viz obrázek 10.1.

10.3 Reakce objektů v grafu na přejetí myší

Tato modifikace dodala všem potomkům třídy `KsPlot::PlotObject`, tzv. plot-objektům, veřejnou metodu pro reakci na přejetí myši a privátní virtuální metodu, kterou veřejná metoda volá pro viditelný objekt. Privátní metoda má výchozí definici prázdnou, chování má dále definovat uživatel u dědicích typů. Krom toho je dodána detekce přejetí přes plot-objekt v grafu a reakce na přejetí. Toto chování bylo vsunuto na konec zpracování události pohybu myši a funguje podobně jako detekce dvojitého kliknutí.

Soubory s modifikací: *KsPlotTools.hpp* s novými metodami a *KsGLWidget.cpp* pro vsunutou detekci a reakci. Kódová značka modifikace je `MOUSE HOVER PLOT OBJECTS`.

Nabízí se zde otázka, zdali je toto dostatečně výkonná implementace - myš se pohybuje často, objektů může být mnoho. Řešení musí vždy projít všechny plot-objekty a u každého se rozhodnout, zdali reagovat na myš či nikoliv. Při praktickém použití s rozumnými limity pro zobrazované plot-objekty nenastaly problémy (například nedává smysl neustále zobrazovat tlačítka Stacklooku nad každým prvkem grafu, vedlo by to k přemíře informací). Nejvíc program zpomaloval objem dat z trasovacího souboru a náhlé vykreslování objektů, nikoliv práce této modifikace. Pokud bude ale objektů opravdu příliš mnoho, výkon může být ovlivněn. Proto se optimalizace výkonu nechává jako *rozšíření* této práce. Inspirací může být nahrazení lineárního prohledávání for-cyklem vyhledáváním přes souřadnice, tedy přes nějaké mapování souřadnic na objekty na těchto souřadnicích.

Tuto modifikaci používá hlavně plugin Stacklook.

10.4 Měnitelné nápisy v hlavičce grafu

Tato modifikace přidává do souborů *KsTraceGraph.hpp/cpp* veřejnou funkci, s níž lze přepsat obsah informačního řádku KernelSharku. Funkce nastaví texty

nápisům v informačním řádku.

K použití stačí mít k dispozici KsTraceGraph objekt. Pak se dá s modifikací pracovat i v pluginech a jiných částech KernelSharku.

V kódu lze tuto modifikaci nalézt pod značkou PREVIEW LABELS CHANGEABLE.

I zde se objevuje bug ze sekce o zpřístupnění barev využívaných v grafu, jenom se tentokrát netýká tabulek, nýbrž informačního řádku. Zde ale nelze spoléhat na nějaké výchozí hodnoty, tedy uživatel musí buď plugin vždy explicitně načíst, nebo nepoužívat plugin využívající tuto modifikaci.

Příklad použití: tlačítka Stacklooku (v červeném kroužku) žádají na přejetí myši o zobrazení několika prvků zásobníku kernelu, viz obrázek 10.2.

Modifikaci používá hlavně plugin Stacklook.

10.5 NoBoxes

Jak popsala čtvrtá kapitola, chtěli bychom některé záznamy při vykreslování ignorovat, jinak se nám může zobrazovat falešná práce v grafu. Vykreslování obdélníků mezi záznamy se děje při každém vykreslení grafu. Ovlivnit obdélníky dokáže v této chvíli máloco. Pracuje se zde s biny, tedy sdruženími jednoho či více záznamů. V binech se pak nelze na mnoho spolehnout. Můžeme ale použít data viditelnosti, u kterých KernelShark ukládá i nastavení speciálních chování. Viditelnost binu lze ovlivnit viditelností záznamů, které sdružuje.

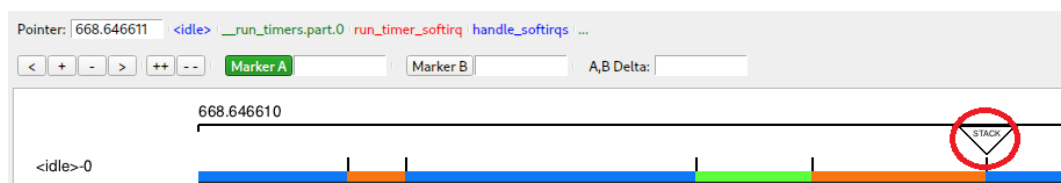
Vylepšení vytvořilo novou masku viditelnosti pro záznamy, KS_DRAW_TASKBOX_MASK. Tato maska značí, zda se záznam účastní kreslení mezi-záznamových obdélníků. Vykreslování pak bylo upraveno tak, že pokud bin využije viditelnost záznamu, který se nemá účastnit kreslení obdélníků, pak obdélníky budou při kreslení tento bin ignorovat. Značkou modifikace je NOBOXES.

Na výběr záznamů, které budou masku používat, byl vytvořen plugin pro tuto modifikaci, nese název NoBoxes. V jeho kódu jsou zapsány události, na jejichž záznamy má být maska použita, plugin pak lze zapínat a vypínat jako každý jiný. Pokud plugin není načten, modifikace by neměla mít na chod KernelSharku vliv.

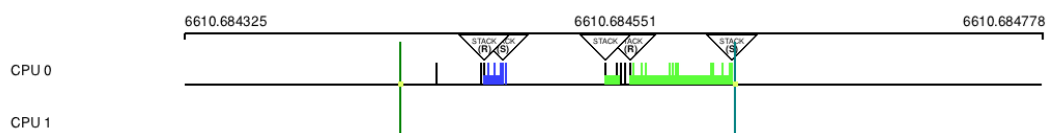
Příklad fungujícího vylepšení je na obrázku 10.3. Oproti minulému obrázku (obrázek 4.1) ubylo několik obdélníků a graf nyní odpovídá skutečné práci.

Problém tohoto vylepšení je ale právě vykreslování obdélníků. Vykreslování se děje často a použitá implementace tohoto vylepšení při grafických změnách v hlavním okně KernelSharku obdélník vykreslí i pokud by neměl projít novým filtrováním. Při častých změnách pak může nastat problikávání obdélníků. Někdy modifikace i ovlivňuje záznamy aniž by byl plugin aktivní ve streamu.

Oprava byla označena za rozšíření, jelikož objem práce k tomuto dodatku byl odhadnut na příliš velký a vytvořený best-effort přístup funguje, ačkoliv jistě nedokonale.



Obrázek 10.2 Při přejetí kurzorem myši se vlevo nahoře informační řádek změní.



Obrázek 10.3 NoBoxes donutí některé obdélníky k tomu, aby nebyly nakresleny.

Závěr

Shrnutí výsledků práce

Uvedli jsme si do kontextu trasování na operačním systému Linux, různé nástroje ke sběru trasovacích dat a vizualizační programy pro tato data, přičemž jsme se poté soustředili na vizualizační program KernelShark. Poté jsme dodali KernelSharku několik, pro tuto práci hlavních, vylepšení. Dvěma z nich jsou pluginy Stacklook a Naps. První z pluginů zjednodušil analýzu zásobníku kernelu při zkoumání trasovacích dat přidáním nových tlačítek do GUI a samostatných oken pro zobrazení obsahu zásobníku. Druhý plugin přidal vizualizaci nečinnosti procesů s informací o jejich předešlém stavu. Kromě pluginů jsme KernelSharku dodali i modifikace Record Kstack, Couplebreak a NUMA Topology Views. Record Kstack je malou modifikací, která pouze přidala tlačítko do GUI pro Trace-cmd v KernelSharku, díky němuž může uživatel explicitně zapnout ukládání obsahu zásobníku během trasování. Couplebreak byl větší modifikací a přidal nastavitelnou možnost rozdělovat záznamy některých typů událostí a pracovat se záznamy umělých událostí této modifikace. Možnost rozdělovat události pak představila kompatibilitu pro pluginy, které by obvykle pro svou práci musely měnit data v záznamech a blokovat tak jiné pluginy, které by očekávaly data původní či jinak pozměněná. NUMA Topology Views modifikace přidala, s pomocí programu Hwloc, novou vizualizaci do KernelSharku, s níž je možné zobrazit vedle grafů CPU i NUMA topologii procesorů na systému. Vedle výše zmíněných byl KernelShark také rozšířen o několik dodatečných vylepšení, která pomohla při vývoji, opravila méně významné chyby a aktualizovala existující kód tak, aby byl lépe podporován v budoucnu. Ke všem vylepšením byla i vytvořena uživatelská dokumentace v češtině (tato práce) a v angličtině, aby je mohlo pochopit co největší množství potenciálních uživatelů.

Budoucnost projektu

Projekt je zatím v takovém stavu, že je možné jej představit v této práci, ale není ještě úplně dokončen. Jak uvedly kritiky a rozšíření u kapitol jednotlivých hlavních vylepšení a i některé poznámky u dodatečných vylepšení, výsledky práce se mohou dále upravovat a rozšiřovat. Stále například přetrvává nedokonalost dodatečného vylepšení NoBoxes, kde je nutno najít řešení, které funguje vždy, nikoli pouze občas. Dále, NUMA Topology Views má nedokonalý návrh pro budoucí rozšíření o nové typy pohledů. Posledním příkladem mohou být i dokumentace, kde hlavně anglická strana nemá dostatečné vývojové dokumentace, hlavně u pluginů, a celkově jsou anglické dokumentace starší než jejich české verze.

Po vyřešení výraznějších nedostatků je pak v plánu přidat, přes oficiální mailing list, alespoň některá vylepšení do projektu KernelShark a tak zveřejnit vylepšení všem.

Literatura

1. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Linux Tracing Technologies* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/index.html>.
2. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - Using the Linux Kernel Tracepoints* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/tracepoints.html>.
3. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - Event Tracing* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/events.html>.
4. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - ftrace - Function Tracer* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/ftrace.html>.
5. ROSTEDT, Steven. *Trace-cmd: A front-end for Ftrace* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://lwn.net/Articles/410200/>.
6. ROSTEDT, Steven. *Trace-cmd Manpage* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://www.man7.org/linux/man-pages/man1/trace-cmd.1.html>.
7. LINUX FOUNDATION. *Perf Wiki* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://perfwiki.github.io/main/>.
8. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - Kernel Probes (Kprobes)* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/kprobes.html>.
9. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - Event Histograms* [online]. [cit. 2025-06-02]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/histogram.html>.
10. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - Boot-time Tracing* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/boottime-trace.html>.
11. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - user_events: User-based Event Tracing* [online]. [cit. 2025-06-01]. Dostupné z: https://docs.kernel.org/trace/user_events.html.
12. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - OSNOISE Tracer* [online]. [cit. 2025-06-02]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/osnoise-tracer.html>.
13. LINUX KERNEL DOCUMENTATION. *Tracing - Runtime Verification* [online]. [cit. 2025-06-02]. Dostupné z: <https://docs.kernel.org/trace/rv/index.html>.
14. THE LTTNG PROJECT. *Linux Tracing Toolkit next generation (LTTng)* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://lttng.org>.
15. POIRRIER, Laurent. *HPerf* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://www.poirrier.ca/hperf/>.
16. GREGG, Brendan. *Flame Graphs* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://www.brendangregg.com/flamegraphs.html>.

17. GREGG, Brendan. *Brendan Gregg: Overview* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://www.brendangregg.com>.
18. GREGG, Brendan. *AI Flame Graphs* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://www.brendangregg.com/blog/2024-10-29/ai-flame-graphs.html>.
19. TSUKATA, Eiichi. *Sunburst Graph GitHub* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: https://github.com/Etsukata/d3js_trace?tab=readme-ov-file#readme.
20. ROSENDAHL, Viktor. *TraceShark GitHub* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://github.com/cunctator/traceshark>.
21. KERNELSHARK DEVELOPERS. *KernelShark* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://kernelshark.org/>.
22. ROSTEDT, Steven. *LinkedIn profil Stevena Rostedta* [online]. [cit. 2025-06-03]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/in/steven-rostedt-0159437a/>.
23. ROSTEDT, Steven. *Using KernelShark to analyze the real-time scheduler* [online]. [cit. 2025-06-03]. Dostupné z: <https://lwn.net/Articles/425583/>.
24. KERNELSHARK DEVELOPERS. *KernelShark Git Repository* [online]. [cit. 2025-07-01]. Dostupné z: <https://git.kernel.org/pub/scm/utils/trace-cmd/kernel-shark.git/log/>.
25. KARADZHOV, Yordan. *LinkedIn profil Yordana Karadzova* [online]. [cit. 2025-06-03]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/in/yordan-karadzov-10575513b/>.
26. LANKESTER, Branko; JOHNSON, Michael K.; SHIELDS, Michael; BLAKE, Charles; MOSSBERGER-TANG, David; CAHALAN, Albert. *Process State Codes* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: https://www.man7.org/linux/man-pages/man1/ps.1.html#PROCESS_STATE_CODES.
27. PRO, Andrey; USER10489. *What is a parked thread in Linux kernel?* [online]. [cit. 2025-06-21]. Dostupné z: <https://unix.stackexchange.com/questions/793936/what-is-a-parked-thread-in-linux-kernel>.
28. OPEN MPI. *Hwloc dokumentace* [online]. [cit. 2025-04-08]. Dostupné z: <https://www.open-mpi.org/projects/hwloc/doc/v2.11.2/a00343.php>.

Seznam obrázků

2.1	Ukázka GUI HPerf	25
2.2	Flame Graph pro proces programu 7Zip	25
2.3	Ukázka sunburst grafu v akci	26
2.4	Ukázka GUI TraceSharku	27
3.1	Čerstvě spuštěný KernelShark	30
3.2	KernelShark se zvýrazněným dělením hlavního okna	30
3.3	Aktivní pokročilý filtr - žádná událost nevyhovuje podmínkám . .	33
3.4	KernelShark GUI pro práci s Trace-cmd	34
4.1	Ne všechny obdélníky mezi záznamy by se měly vykreslovat, některé tvoří iluzi opravdové práce.	43
5.1	Zvýraznění změn modifikace Record Kstack viditelných v GUI . .	46
6.1	Fungující Stacklook	54
6.2	Okénko se správou pluginů	57
6.3	Konfigurační okno Stacklooku	58
6.4	Tlačítka s výchozími barvami	59
6.5	Tlačítka využívající barvy procesů	59
6.6	Tlačítka s konfigurovanými barvami	59
6.7	Reakce tlačítek na přejetí kurzorem myši	60
6.8	Chování informačního řádku při velkém offsetu do zásobníku . . .	61
6.9	Několik oken detailních pohledů Stacklooku	62
7.1	Submenu Tools s tlačítkem pro konfiguraci Couplebreaku.	76
7.2	Dva streamy jsou otevřené, v jednom z nich je aktivní Couplebreak.	76
7.3	V jednoduchém filtru lze vybírat i Couplebreak události.	77
8.1	Fungující Naps	85
8.2	Okénko se správou pluginů se záznamem pro plugin Naps	88
8.3	Tlačítko na vyvolání konfiguračního dialogu pluginu Naps	88
8.4	Konfigurační dialog pro plugin Naps	89
8.5	Hrany obdélníku mají stejnou barvu, jako jeho vnitřek	89
8.6	Hrany obdélníku používají barvu procesu	89
8.7	Dialog signalizuje úspěšnou změnu konfigurace pluginu	89
8.8	Obdélníky, které nejsou dostatečně široké, nezobrazí název předchozího stavu	90
9.1	Blokový strom (vlevo) a klasická grafová reprezentace stromu (vpravo)	94
9.2	Neaktivní NUMA TV v KernelSharku není vizuálně přítomna . .	106
9.3	Aktivní NUMA TV pro jeden stream z dvou otevřených	108
9.4	Viditelná plocha pro zobrazení topologií (vlevo) a stejná plocha skryta skrývacím tlačítkem (vpravo)	109
9.5	Vysvětlivka zobrazená při přejetí kurzoru myši nad vrcholem v topologickém stromu	110
9.6	Uspořádání grafů se mění podle pohledu v konfiguraci	111

9.7	Obscný formát konfiguračních dialogů pro NUMA TV a Couplebreak.	112
10.1	Stacklook tlačítko využívá barvu, kterou KernelShark udělil procesu.	115
10.2	Při přejetí kurzorem myši se vlevo nahoře informační řádek změní.	117
10.3	NoBoxes donutí některé obdélníky k tomu, aby nebyly nakresleny.	117

A Přílohy

A.1 Soubory s ukázkovými daty

Aby mohla být vylepšení ozkoušena, aniž by čtenář musel vytvářet vlastní, jsou v této příloze tři soubory ve formátu pro Trace-cmd, všechny s koncovkou `.dat`, a čtyři soubory pro ukázkou vylepšení NUMA Topology Views v XML formátu z programu Hwloc (tyto soubory byly vytvořeny synteticky pouze pro ukázkou). Soubory Trace-cmd stačí otevřít či přidat jako streamy přes KernelShark GUI nebo terminál. Soubory pro NUMA Topology Views lze otevřít přes konfigurační okno NUMA Topology Views.

DAT soubory jsou:

- *trace1.dat* - záznam trasování s malým počtem událostí a úloh, zachycen na openSUSE distribuci.
- *trace2.dat* - záznam trasování s větším počtem událostí a úloh, zachycen an subsystému Linux pro Windows s openSUSE distribucí.
- *trace-no-stacktrace.dat* - záznam trasování, v němž nebyly zachyceny zásobníky kernelu, zachycen na openSUSE distribuci.

XML soubory jsou:

- *empty.xml* - neobsahuje žádná data.
- *synth_topo_diff_n_cpus.xml* - počet CPU není stejný jako v trasovacích souborech.
- *synth_topo_no_numa.xml* - topologie s jediným NUMA uzlem, tj. bez zajímavé NUMA topologie.
- *synth_topo_w_numa.xml* - topologie s dvěma NUMA uzly, každý obsahuje dvě jádra, každé jádro má dva procesory.

A.2 Odkazy na Git repozitáře

Jedná se o jeden primární repozitář a dva repozitáře, které jej zrcadlí. Primární repozitář pokračuje z ročníkového projektu, zrcadla jsou zcela nová.

- Primární repozitář: <https://gitlab.mff.cuni.cz/teaching/nprg045/kara/kernel-shark-sebanek>
- První zrcadlo (MFF GitLab): <https://gitlab.mff.cuni.cz/sebaned/kernel-shark-sebanek-mirror>
- Druhé zrcadlo (GitHub): <https://github.com/DJSeb/kernel-shark-sebanek-gh-mirror>