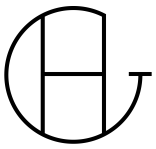


HoGent

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Tracing in microservices met Spring Cloud Sleuth en Zipkin

Frederic Everaert

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Harm De Weirdt
Co-promotor:
Geert Vandensteen

Instelling: —

Academiejaar: 2016-2017

Eerste examenperiode

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Tracing in microservices met Spring Cloud Sleuth en Zipkin

Frederic Everaert

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Harm De Weirdt
Co-promotor:
Geert Vandensteen

Instelling: —

Academiejaar: 2016-2017

Eerste examenperiode

Samenvatting

Voorwoord

Inhoudsopgave

1 Inleiding 9

1.1 Stand van zaken 10

1.2 Probleemstelling en Onderzoeksvragen 10

1.3 Opzet van deze bachelorproef 10

2 Gebruikte technologieën 13

2.1 Spring en Spring Boot 13

2.2 Containerisatie met Docker 14

2.3 Tracing 14

2.3.1 Spring Cloud Sleuth 15

2.3.2 Zipkin 15

2.4 Logging 15

3 Onderzoek 17

3.1 Methodologie 17

3.1.1 Opzetten microservices 17

3.1.2 Sampling strategieën en performantieverschillen 20

3.1.3 Logging 23

4 Conclusie 25

Bibliografie 27

1. Inleiding

Monolithische architecturen ruimen steeds meer baan voor microservice architecturen of kortweg microservices. Een monolitische applicatie is gebouwd als een enkelvoudige, zelfstandige eenheid. Bij een client-server model, kan bijvoorbeeld de applicatie langs de server zijde bestaan uit een enkele applicatie die de HTTP requests behandelt, logica uitvoert en data ophaalt of bijwerkt in de database. Het grote probleem van monolitische applicaties is dat ze moeilijk te onderhouden zijn. Een kleine verandering in een bepaalde functionaliteit van de applicatie kan ervoor zorgen dat andere delen van de applicatie ook bijgewerkt moeten worden. De volledige applicatie moet opnieuw gebuild en gedeployed worden. Als een bepaalde functionaliteit gescaled moet worden, moet de volledige applicatie gescaled worden. Microservices bieden hiervoor een oplossing, aangezien de verschillende functionaliteiten elk een op zich zelf staande service kunnen vormen.

Bij microservices schieten echter de traditionele tools voor debugging tekort. Een enkele service kan niet het volledige beeld geven over bijvoorbeeld de performantie van de applicatie in zijn geheel. Om dit te verhelpen, kunnen requests getraced worden. Een trace is de volledige reisweg van een request die spans bevat voor alle doorkruiste microservices. Een span bestaat uit tags of metadata zoals de start- en stoptijdstippen. Deze data kan dan verzameld worden om een volledig beeld van het gedrag van de applicatie te geven.

De bedoeling van dit onderzoek is om de meerwaarde van tracing in microservices aan te tonen en ook om eventuele tekortkomingen vast te stellen. Er wordt specifiek gekeken naar tracing van requests met behulp van Spring Cloud Sleuth en Zipkin. In de praktijk gaat men niet alle requests gaan tracen om onnodige overhead te vermijden. Beslissen welke requests getraced worden en welke niet wordt sampling genoemd. Wat kunnen bijvoorbeeld enkele interessante use cases zijn waarbij er op een intelligente manier gesampled kan worden? Ten slotte visualiseert Zipkin enkel de verschillende traces, maar niet de log berichten,

deze worden dan ook nog niet verzameld. Om logs te verzamelen en visualiseren wordt gekeken naar ElasticSearch, Logstash en Kibana. Er wordt aangetoond hoe deze tools in combinatie met Zipkin helpen om de complexiteit van microservices in bedwang te houden.

1.1 Stand van zaken

Onderzoeken rond distributed tracing systemen zijn schaars, maar de technologieën die gebruikt worden in dit onderzoek, namelijk Spring Cloud Sleuth en Zipkin, zijn gebaseerd op Google Dapper. (Sigelman e.a., 2010) Deze technische paper beschrijft in detail de werking van Google's distributed tracing systeem. Net zoals Dapper gebruikt Sleuth een annotatie gebaseerde methode om tracing toe te voegen aan requests. De terminologie is volledig overgenomen. Een trace bevat meerdere spans voor elke hop naar een andere service. Spans die dezelfde trace id bevatten, maken deel uit van dezelfde trace. Een groot ontwerpdoel van Dapper was om de overhead voor tracing zo laag mogelijk te houden. Sampling werd hierdoor geïntroduceerd. In een eerste productie gebruikten ze eenzelfde sampling percentage voor alle processen bij Google, gemiddeld één trace per 1024 kandidaten. Dit schema bleek heel effectief te zijn voor diensten met veel verkeer, maar bij diensten met minder verkeer gingen er zo interessante events verloren. Als oplossing werd toegelaten dat dit sampling percentage wel aan te passen was, ook al wou Google met Dapper dit soort manuele interventie vermijden. Spring Cloud Sleuth neemt dezelfde instelling over en laat ook toe om zelf sampling in te stellen.

1.2 Probleemstelling en Onderzoeksvragen

Het is voorlopig nog onduidelijk welke performantiegevolgen tracing met zich meedraagt in een Spring Boot microservices omgeving. Deze worden in dit onderzoek bekeken door de sampling van Sleuth in te stellen.

Zipkin geeft tracing informatie, maar niet de logs. Hoe helpt Kibana hierbij?

Om logs van een Spring Boot microservice naar ElasticSearch te sturen worden Logstash en Fluentd bekeken. Is er een performantieverschil?

1.3 Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 worden de gebruikte technologieën in dit onderzoek besproken.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden antwoorden gezocht op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 4, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2. Gebruikte technologieën

2.1 Spring en Spring Boot

Dit onderzoek maakt gebruik van Spring Boot om microservices op te stellen. Het Spring framework staat bekend voor zijn Inversion of Control (IoC) principe, ook gekend als dependency injection. Dit betekent onder andere dat een object geannoteerd kan worden met `@Component` en Spring zal het object aanmaken, alle nodige velden vullen en het object toevoegen aan de context van de applicatie. Op deze manier is het mogelijk om verschillende objecten toe te voegen aan de context, zodat ze onderling gemakkelijk samenwerken. Het IoC principe vergemakklijkt hierdoor de manier om andere bibliotheken te integreren in de applicatie.

Spring Boot maakt het gemakkelijk om op zichzelf staande, productiewaardige Spring applicaties te maken waar het niet nodig is om veel aan de configuratie te sleutelen. Het mantra van Spring Boot is dan ook *convention-over-configuration*. Dit is bijzonder handig voor microservices omdat bijvoorbeeld een eenvoudige REST applicatie aangemaakt kan worden in minder dan 20 lijnen code.

Listing 2.1: eenvoudige Spring Boot REST app

```
@Controller
@EnableAutoConfiguration
public class SampleController {

    @RequestMapping("/")
    @ResponseBody
    String home() {
        return "Hello␣World!";
    }
```

```
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        SpringApplication.run(SampleController.class, args);
    }
}
```

De `@Controller` annotatie zorgt ervoor dat de klasse gebruikt kan worden door Spring MVC om web requests te behandelen. Vanaf Spring 4.0 is het ook mogelijk om `@RestController` te gebruiken, die de annotaties `@Controller` en `@ResponseBody` combineert. De laatste annotatie is handig om `return` waarden van requests op te vangen in een zelfgedefinieerde Java klasse. `@EnableAutoConfiguration` zegt dat Spring Boot de applicatie automatisch moet configureren op basis van de toegevoegde bibliotheken. Ten slotte is er nog de `@RequestMapping` annotatie die Spring vertelt dat het pad `/` gemapped moet worden op de `home` methode.

2.2 Containerisatie met Docker

Elke microservice, bijvoorbeeld een Spring Boot applicatie, kan door Docker uitgevoerd worden zijn eigen container. De verschillende containers zijn geïsoleerd van elkaar en delen enkel de minimale kernel van het besturingssysteem. Containers lijken op het eerste zicht op virtuele machines, in het opzicht dat beide geïsoleerde omgevingen zijn die beheerd worden door een controlerend proces: een container manager en hypervisor respectievelijk. Het grootste verschil tussen de twee is echter dat, voor elke virtuele machine, een volledige stack van componenten uitgevoerd dienen te worden: het besturingssysteem tot en met de applicatielaag en de virtuele hardware met netwerkkaarten, CPU's en geheugen.

Containers daarentegen functioneren eerder als volledig geïsoleerde *sandboxes*. De containers delen met elkaar de kernel van het besturingssysteem met de aanwezige systeembronnen. Dit betekent dat containers veel minder zwaar zijn op het onderliggende systeem, zodat meer containers uitgevoerd kunnen worden dan virtuele machines. Een belangrijke limitatie van containers is echter dat ze enkel uitgevoerd kunnen worden in Linux-gebaseerde besturingssystemen. Dit omdat Docker gebruik maakt van kernel isolatie, wat een specifieke Linux technologie is.

Docker kan niet rechtstreeks uitgevoerd worden op Mac of Windows systemen, maar er is een eenvoudige workaround om dit te verhelpen: Docker Toolbox. Er zal eerst een Linux virtuele machine opgestart worden in VirtualBox, waarna de docker containers uitgevoerd kunnen worden in deze virtuele machine.

2.3 Tracing

Een van de uitdagingen in een microservice omgeving is om het overzicht te bewaren hoe alle verschillende services met elkaar samenwerken. Omdat elke service onafhankelijk is

van de volgende, is het moeilijker om het gedrag van het volledige systeem te controleren. Zoals eerder vermeld in 1 kan tracing hierbij helpen en omdat het gaat over tracing in een microservice systeem, spreekt men ook over distributed tracing.

2.3.1 Spring Cloud Sleuth

Spring Cloud biedt een aantal bibliotheken aan zoals Config (een plaats om configuraties van verschillende microservices te beheren), Netflix (Netflix OSS integraties voor Spring Boot apps zoals Eureka) en dus ook Sleuth. Sleuth is een distributed tracing oplossing die concepten van Dapper, Zipkin en HTrace leent.

Een trace ziet er bij Sleuth uit zoals bij Dapper. Het bevat een trace id dat gevormd wordt wanneer de eerste request gemaakt wordt. Voor elke service die de request doorkruist, wordt een span id toegekend voor die service en toegevoegd aan de trace. Sleuth voegt die id's toe aan de headers in de request response. (invoegen voorbeeld trace, met trace id en span id headers) De eerste span van een trace kent dezelfde id als de trace.

Sleuth voegt de trace en span id's ook toe aan de logging voor de microservice. Dit ziet er zo uit: `[my-service-id,73b62c0f90d11e06,73b62c0f90d11e06,false]`. `my-service-id` is de naam van de service, de eerste id duidt de trace aan, de volgende is de span en de laatste waarde geeft aan of de span geëxporteerd dient te worden naar Zipkin.

2.3.2 Zipkin

Om de traces die Sleuth aanbiedt te verzamelen en te analyseren, komt Zipkin goed van pas. Sleuth heeft de mogelijkheid om tracing informatie te sturen naar een Zipkin server door de dependency `spring-cloud-sleuth-zipkin` toe te voegen aan de applicatie. Sleuth gaat er standaard vanuit dat de Zipkin server loopt op `http://localhost:9411`. De locatie kan echter aangepast worden door `spring.zipkin.baseUrl` toe te voegen aan de applicatie eigenschappen (application.properties).

2.4 Logging

Als er iets vreemd wordt opgemerkt in de tracing informatie die Zipkin visualiseert, kan er worden afgeleid in welke service het probleem zich situeert, maar niet wat dat probleem altijd is. Om problemen op te lossen, dient de beheerder van de microservices zich te verdiepen in log bestanden. Als hulpmiddel hiervoor kan de ELK stack van pas komen. ELK staat voor ElasticSearch, Logstash en Kibana. Logstash verzamelt de logs van een microservice en stuurt deze naar een ElasticSearch server die de logs indexeert. De Kibana server is de UI die de logs uit ElasticSearch leest en ze op een gebruiksvriendelijke manier weergeeft. Met Kibana is het dan mogelijk om bijvoorbeeld alle logs van een bepaalde trace weer te geven door te filteren op trace id. Als log shipper kan ook Fluentd gebruikt

worden in plaats van Logstash. In dit onderzoek wordt het verschil bekeken.

...

3. Onderzoek

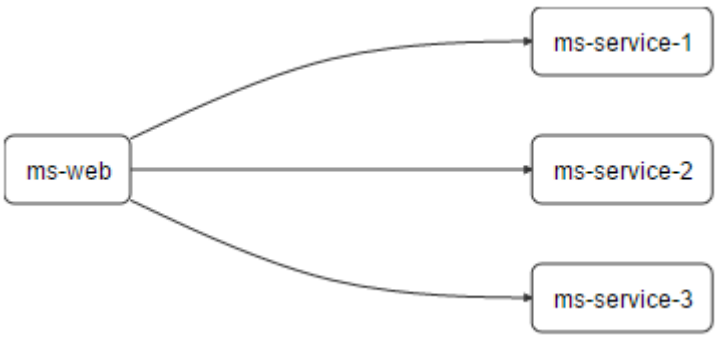
3.1 Methodologie

3.1.1 Opzetten microservices

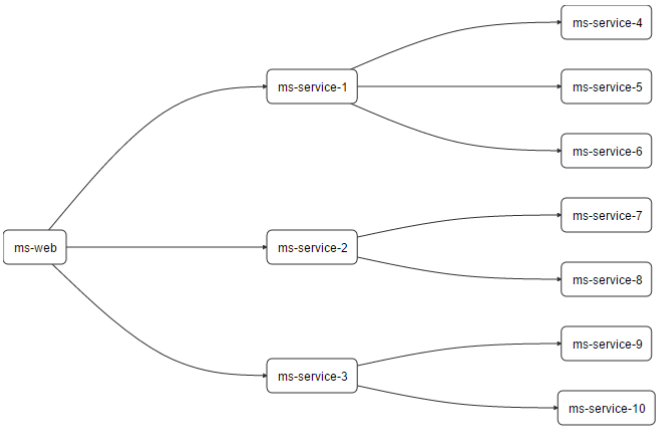
De opstelling kent de volgende microservices:

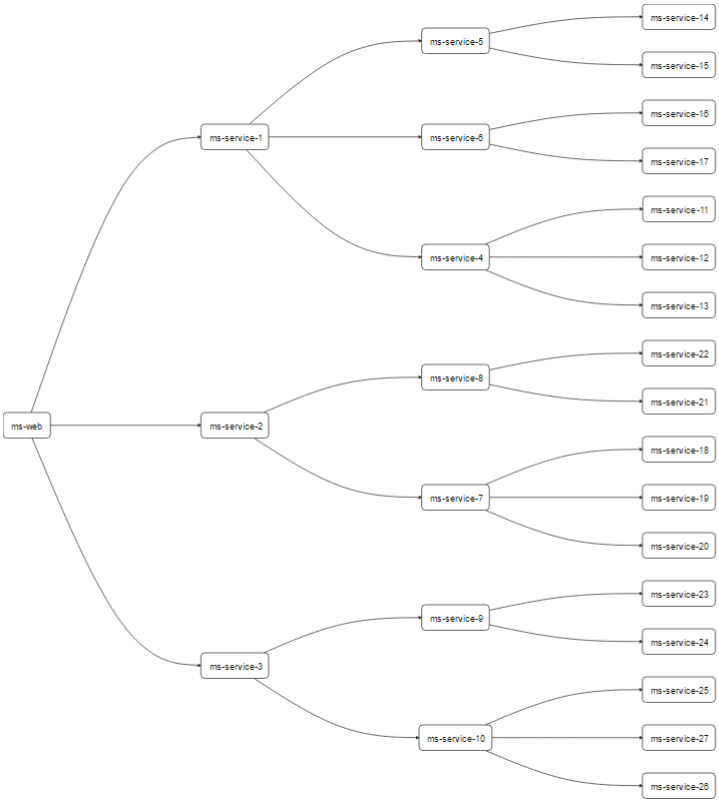
- eureka: service discovery
- zipkin: Zipkin server voor tracing
- ms-web: Spring Boot app die root microservice voorstelt
- ms-service-n: Spring Boot app voor bijkomende microservices (n staat voor een cijfer van 1 t.e.m. 27)

Dit onderzoekt bekijkt drie verschillende opstellingen, geonderscheid op complexiteit, om de tracing performantie na te gaan. De setup met lage complexiteit kent in totaal 4 microservices en 2 niveau's. De setup met gemiddelde complexiteit kent 11 microservices



en 3 niveau's. De setup met hoge complexiteit kent 28 microservices en 4 niveau's.



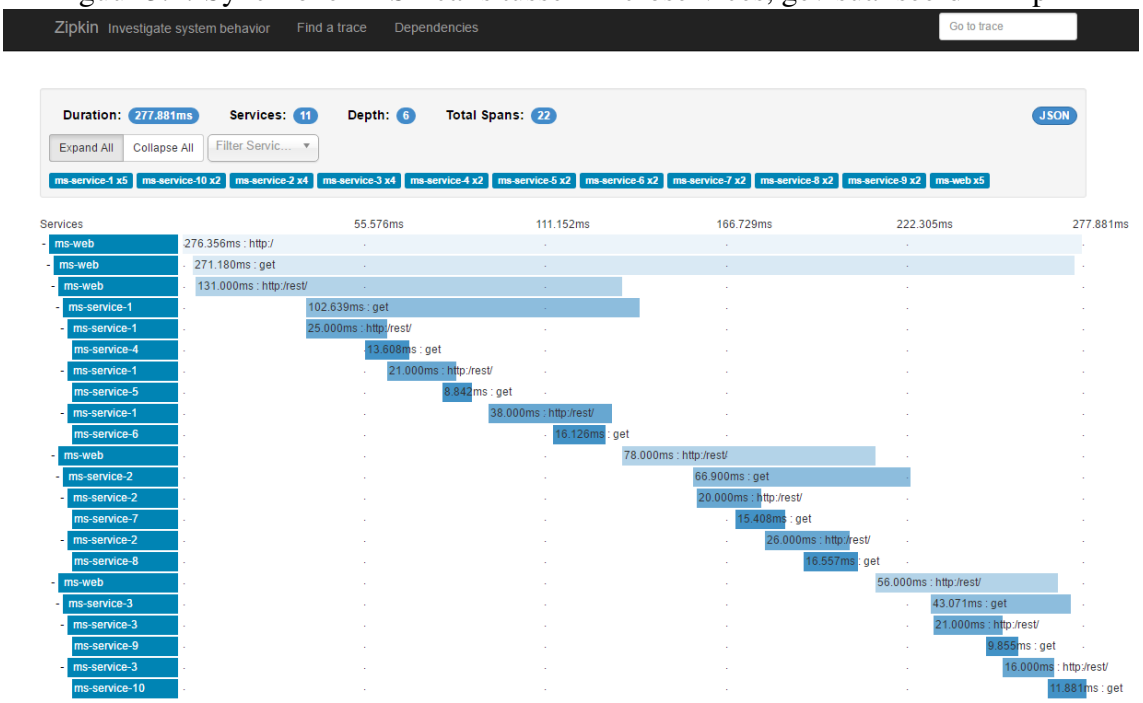


De Spring Cloud Sleuth bibliotheek wordt toegevoegd aan de ms-web en ms-service-n microservices, zodat deze services tracing info doorsturen naar de zipkin server.

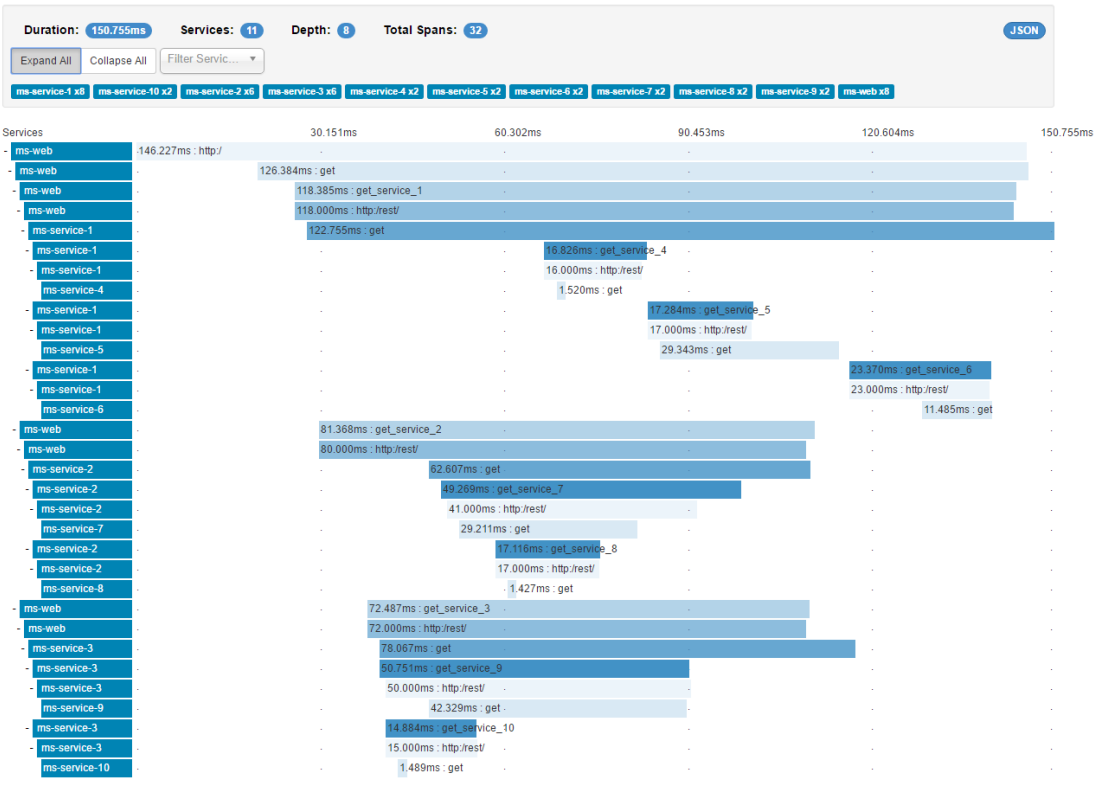
Elke microservice krijgt zijn eigen Docker container, die allemaal tegelijk worden opgestart met Docker Compose, dankzij het toevoegen van een docker-compose.yml script (bijlage) die alle service definities bevat.

De microservices communiceren asynchroon met elkaar, zodat de ene service niet hoeft te wachten op de andere. Dit verbetert de responstijd. Vergelijk figuur 3.1 met figuur 3.2.

Figuur 3.1: Synchrone REST calls tussen microservices, gevisualiseerd in Zipkin



Figuur 3.2: Asynchrone REST calls tussen microservices, gevisualiseerd in Zipkin



Om de asynchrone communicatie tussen services mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van `ListenableFuture` van guava (Google Core libraries voor Java) in combinatie met `TraceCallable` van Sleuth. `TraceCallable` is een wrapper van Sleuth voor een Java `Callable` die tracing informatie toevoegt. Een gewone `Callable` voert een taak uit op een andere thread en geeft een resultaat terug.

Listing 3.1: Asynchrone REST communicatie

```
@RestController
@RequestMapping("/")
public class SimpleRestController {
    private static final ListeningExecutorService executor = MoreExecutors.listeningDecorator(Executors.new

    @Autowired
    private RestTemplate restTemplate;

    @Autowired
    private Tracer tracer;

    @Autowired
    private SpanNamer spanNamer;

    @RequestMapping(method = RequestMethod.GET)
    public String get() throws ExecutionException, InterruptedException {
        Callable<ResponseEntity<String>> callable1 = new Callable<ResponseEntity<String>>() {
            @Override
            public ResponseEntity<String> call() throws Exception {
                return requestService("http://ms-service-1:8080/rest/");
            }
        };
        Callable<ResponseEntity<String>> traceCallable1 = new TraceCallable<>
                (tracer, spanNamer, callable1, "get_service_1");

        ListenableFuture<ResponseEntity<String>> future1 = executor.submit(traceCallable1);

        ...

        // wait for results
        ResponseEntity<String> service1Response = future1.get();

        ...

        return serviceResponse.getBody();
    }

    private ResponseEntity<String> requestService(String serviceUrl) {
        return restTemplate.exchange(serviceUrl, HttpMethod.GET, null, String.class);
    }

}
```

Een `Tracer` en een `SpanNamer` worden geïnjecteerd door Sleuth en een `RestTemplate` door Spring. Omdat Sleuth automatisch tracing informatie toevoegt aan een `RestTemplate`, moet dit niet verder geconfigureerd worden.

3.1.2 Sampling strategieën en performantieverschillen

Er wordt onderzocht wat voor overhead het toevoegen van tracing informatie met zich meebrengt op de drie verschillende testopstellingen (zie 3.1.1). Omdat Sleuth gebaseerd is op Dapper, wordt bekeken hoe verschillende sampling strategieën de performantie beïnvloeden. Uit (Sigelman e.a., 2010) blijkt immers dat verzameling van traces de

grootste invloed kan hebben op vertragingen in het netwerk bij het maken van requests.

Met een gesampelde trace wordt bedoeld dat de trace gemarkeerd is om verzameld te worden. In dit onderzoek betekent dit dat Sleuth een gesampelde trace zal doorsturen naar de Zipkin server. Om de sampling te definiëren voor een bepaalde service dient een Java bean aangemaakt te worden. Sleuth zal deze Sampler automatisch opmerken en gebruiken. Om bijvoorbeeld alle requests te tracen, kan gebruik gemaakt worden van Sleuth's `AlwaysSampler`.

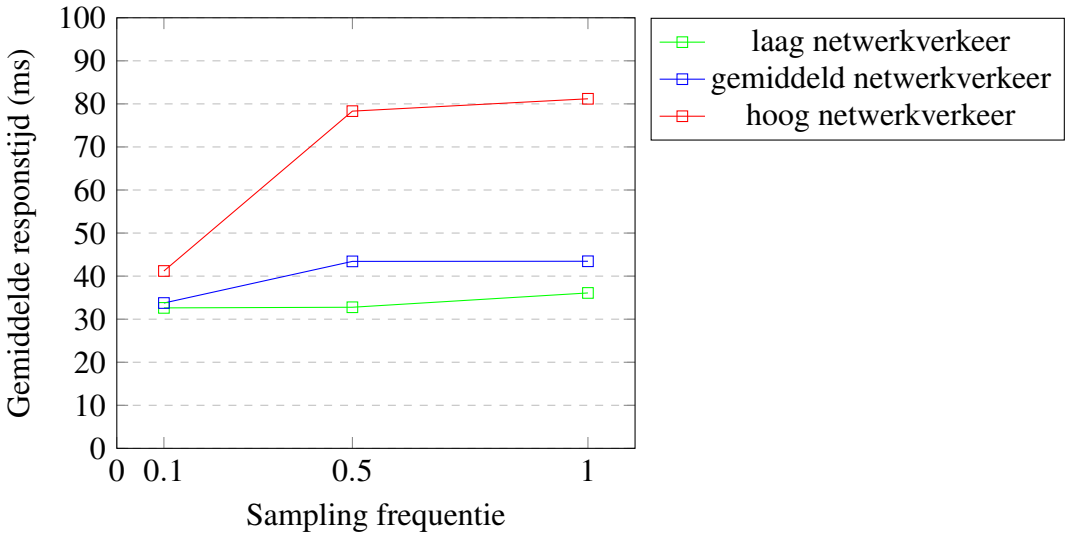
Om slechts een percentage van de requests te tracen, kan een eigen sampler gedefinieerd worden als volgt:

Listing 3.2: Sleuth percentage sampler

```
@Bean
public Sampler percentageSampler() {
    return new Sampler() {
        @Override
        public boolean isSampled(Span span) {
            Random rg = new Random();
            // trace 50% of all requests
            return rg.nextInt(10) > 4;
        }
    };
}
```

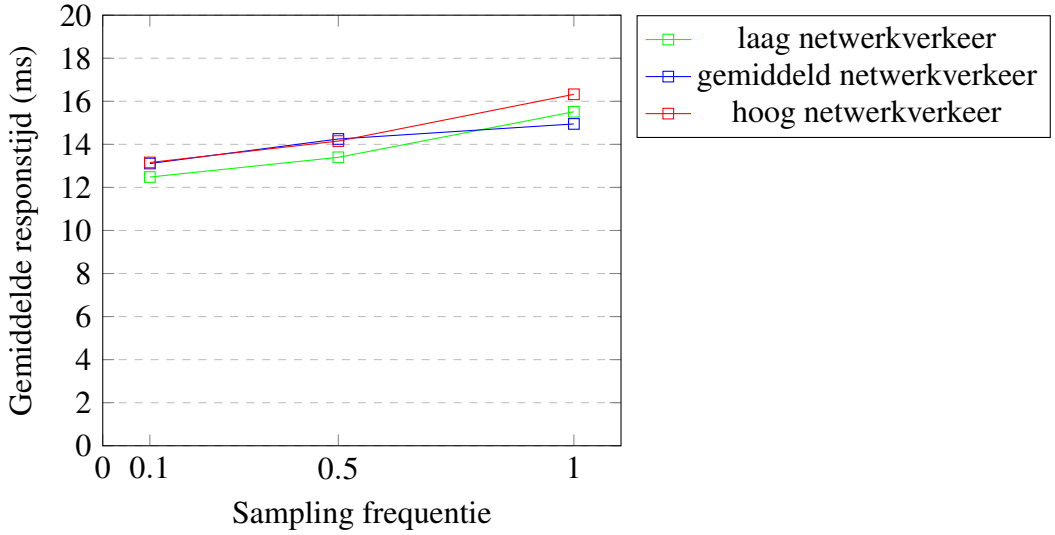
Dit onderzoek gaat na welke performantiegevolgen verschillende sampling percentages op de verschillende gedefinieerde microservice opstellingen (zie 3.1.1) hebben. Er wordt gebruik gemaakt van de Apache Benchmark (ab) tool om de responstijd te testen. Bij de testen wordt rekening gehouden met een *concurrency* variabele, dat aanduidt hoeveel requests er tegelijk worden uitgevoerd. Voor een hoog netwerkverkeer te simuleren worden er 1000 requests tegelijk uitgevoerd tot er 10 000 requests in totaal aangekomen zijn. De bovenlimiet 1000 is gekozen, omdat dit het maximaal aantal verbindingen is dat het gebruikte testsysteem tegelijk toelaat. Een gemiddeld netwerkverkeer wordt gesimuleerd door 200 requests tegelijk uit te voeren tot alweer 10 000 requests verwerkt zijn en een laag netwerkverkeer zal ten slotte 20 requests tegelijk uitvoeren.

Sampling performantie in hoge complexiteit setup

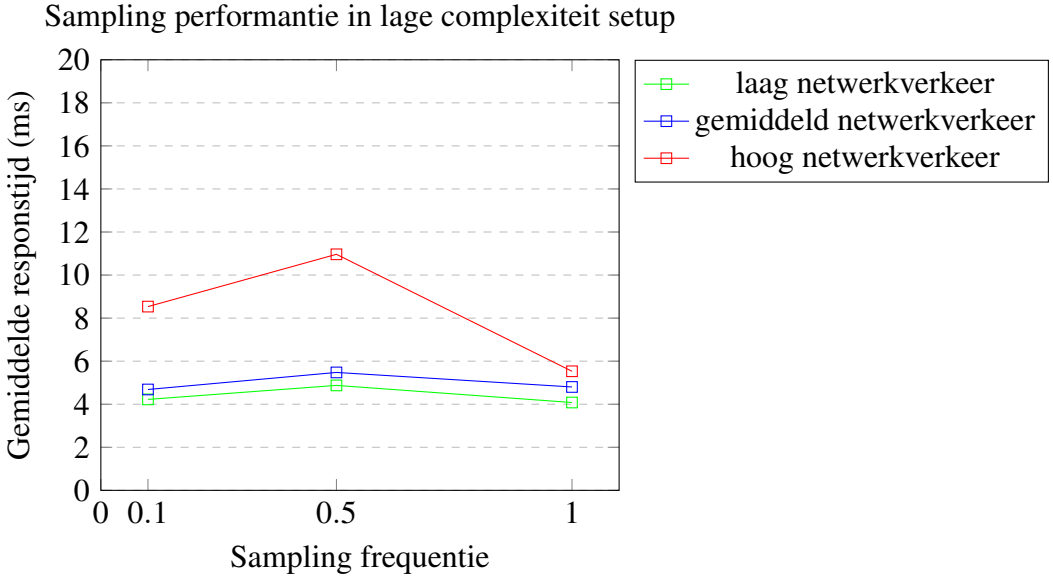


Voor de hoge complexiteit setup blijkt dat tracing vanaf 50% sampling frequentie en bij hoog netwerkverkeer een grote stijging kent in responstijd ten opzichte van de responstijd bij 10% sampling. De responstijd stijgt van 41,2 ms naar 78,3 ms voor 50% sampling en 81,2 ms voor 100% sampling.

Sampling performantie in gemiddelde complexiteit setup



...


Sampling performantie in lage complexiteit setup
Gemiddelde responstijd (ms)
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0.1
0.5
1
Sampling frequentie
laag netwerkverkeer
gemiddeld netwerkverkeer
hoog netwerkverkeer

...

3.1.3 Logging

...

4. Conclusie

Bibliografie

Sigelman, B. H., Andr, L., Burrows, M., Stephenson, P., Plakal, M., Beaver, D., … Shanbhag, C. (2010). Dapper , a Large-Scale Distributed Systems Tracing Infrastructure. *Google Research*, (April), 14. doi:dapper-2010-1

Lijst van figuren

3.1 Synchrone REST calls tussen microservices, gevisualiseerd in Zipkin 19
3.2 Asynchrone REST calls tussen microservices, gevisualiseerd in Zipkin 19

Lijst van tabellen