Anycast metingstool:
voor Anycast operators

SIDN-Techtalk, ARNHEM, NEDERLAND

18 NOV, 2024

Remi Hendriks

UNIVERSITY OF TWENTE.



Anycast metingstool:
voor Anycast operators

DISCLAIMER:

35 minuten is lang, vragen zijn welkom tijdens het presenteren :)

UNIVERSITY OF TWENTE.



Inhoud

1) Inleiding
   - Introductie
   - Internet routing en Anycast
   - Anycast meten
2) Metings tool
   - Technische details en metings proces
   - Features en analyse voorbeelden
   - Onderzoeksperspectief
3) Conclusie en toekomst

Inhoud

1) **Inleiding**
   - **Introductie**
   - Internet routing en Anycast
   - Anycast meten
2) Metings tool
   - Technische details en metings proces
   - Features en analyse voorbeelden
   - Onderzoeksperspectief
3) Conclusie en toekomst

Introductie

- Wie ben ik?
  - Geboren in Twente
  - Bachelor Computer Science @ University of Twente
  - Master Computer Science @ University of Twente





Introductie

- Wie ben ik?
  - Geboren in Twente
  - Bachelor Computer Science @ University of Twente
  - Master Computer Science @ University of Twente
    - Master thesis onder toezicht van Roland en Raffaele
    - Verbeteren van de MAnycast2 metingstool





Raffaele Sommese
Assistant Professor
University of Twente



Roland Van Rijswijk-Deij
Full Professor
University of Twente



Introductie

- Wie ben ik?
  - Geboren in Twente
  - Bachelor Computer Science @ University of Twente
  - Master Computer Science @ University of Twente



- Nu, promovendus @ University of twente



Introductie

- Mijn onderzoek
  - Ontwikkelen (programmeren) van internet meting tools
  - Uitvoeren van grootschalige internet metingen (met de tools)
  - Analyseren van meting resultaten
  - Papers schrijven over resultaten

Introductie

- Mijn onderzoek
  - Ontwikkelen (programmeren) van internet meting tools
  - Uitvoeren van grootschalige internet metingen (met de tools)
  - Analyseren van meting resultaten
  - Papers schrijven over resultaten

- Doel van promovendus
  - Het verbeteren van de robuustheid van het internet (met als focus anycast)

robuustheid

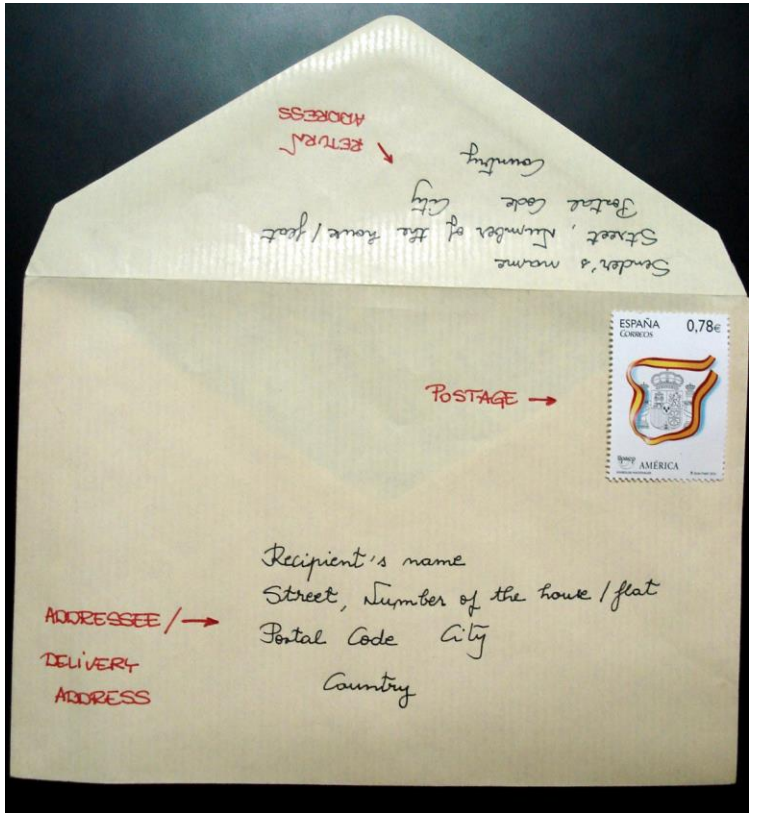
de robuustheid zelfst.naamw. (v.) Hoe robuust iets of iemand is Synoniemen: bestendigheid fouttolerantie foutbestendigheid 1 definitie
Gevonden op https://www.woorden.org/woord/robuustheid

Inhoud

1) **Inleiding**
   - Introductie
   - **Internet routing en Anycast**
   - Anycast meten
2) Metings tool
   - Technische details en metings proces
   - Features en analyse voorbeelden
   - Onderzoeksperspectief
3) Conclusie en toekomst

Internet routing

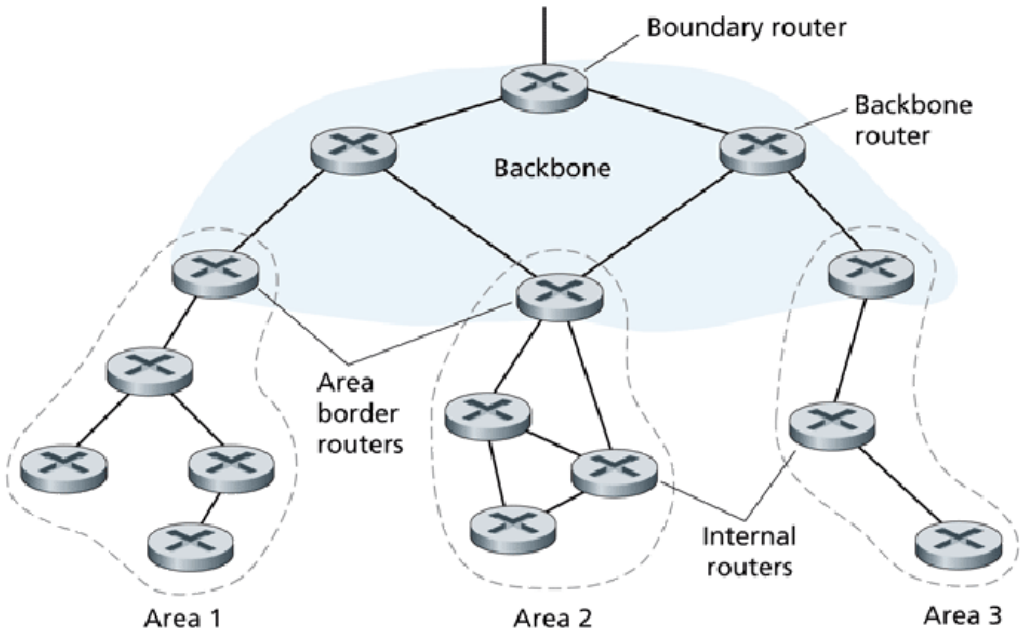
- Communicatie is mogelijk met IP adressen
  - Net als een brief sturen met een adres
  - Alleen gebruik je een IP (bijv. 192.100.82.10)
- Elke server heeft zijn eigen (meestal) IP adres

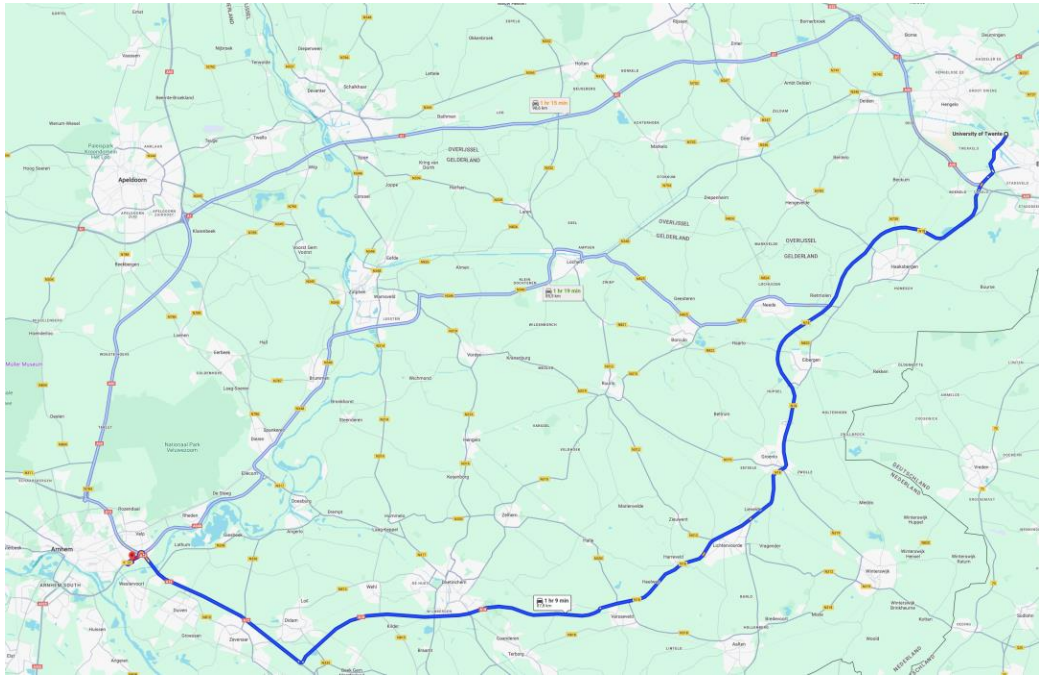


penpallingandletters.blogspot.com

Internet routing

- Internet routers hebben een 'kaart' van het Internet
  - Elke router stuurt jouw 'brief' naar de dichtsbijzijndste volgende router
  - Net als navigeren, alleen maken de kruisingen de beslissing





Wat is Anycast?

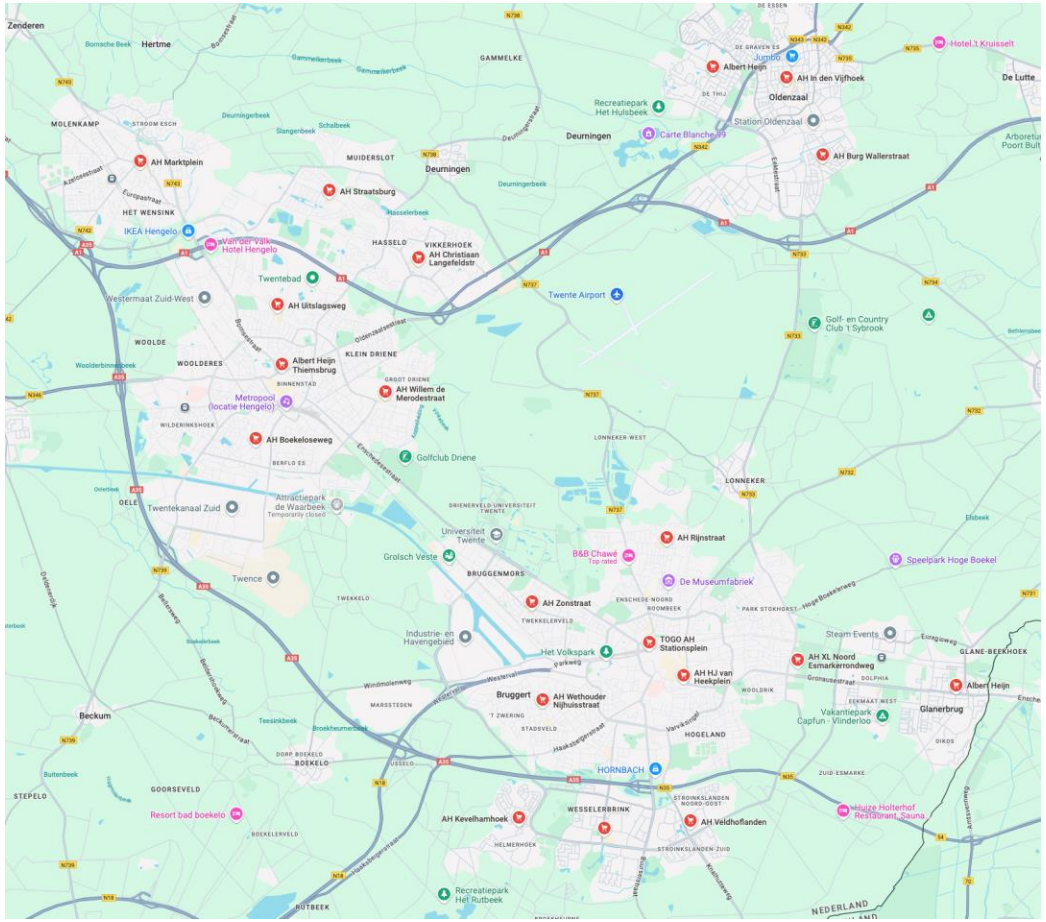
- Het grootste deel van het Internet is unicast
  - Unicast -> een adres wordt gebruikt door 1 server
  - Oftewel, er is maar 1 eindbestemming
  - Voorbeeld: Navigeren naar iemands huis



Wat is Anycast?

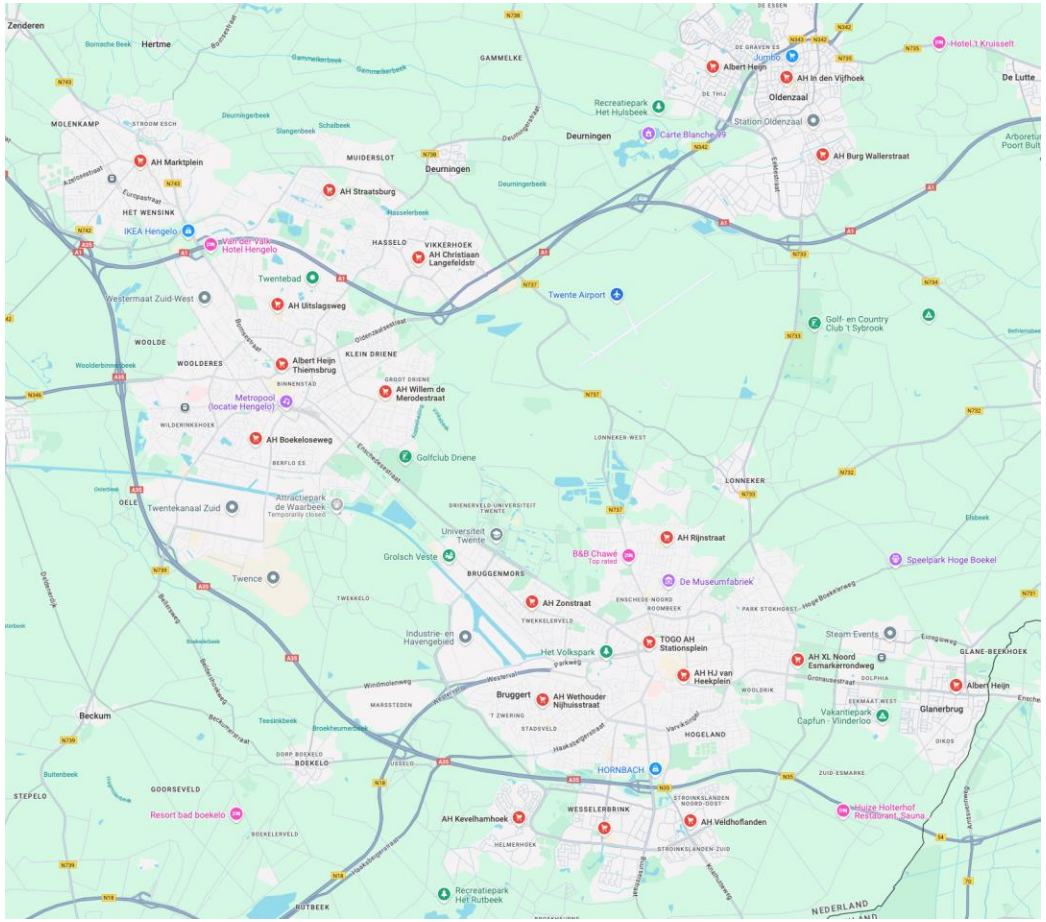
- Het grootste deel van het Internet is unicast
  - Unicast -> een adres wordt gebruikt door 1 server
  - Oftewel, er is maar 1 eindbestemming
  - Voorbeeld: Navigeren naar iemands huis
- Anycast
  - Meerdere servers delen een adres
  - Oftewel, er zijn meerdere eindbestemmingen
  - Voorbeeld: Navigeren naar Albert Heijn

    (er zijn meerdere locaties)



Wat is Anycast?

- Als je naar Albert Heijn navigeert, waar ga je heen?
  - De dichtsbijzijndste
  - Google Maps geeft je de route naar die AH
  - Op basis van waar je bent, kom je bij een andere AH
- Internet Anycast werkt hetzelfde
  - Het Internet routeert je naar de dichtsbijzijndste server



Wat is Anycast?
(voorbeeld)

- Cloudflare's 1.1.1.1 public DNS resolver
  - Vertaalt website URLs (*e.g.,* marktplaats.nl) naar IPs
  - Wordt aangeboden met behulp van anycast!

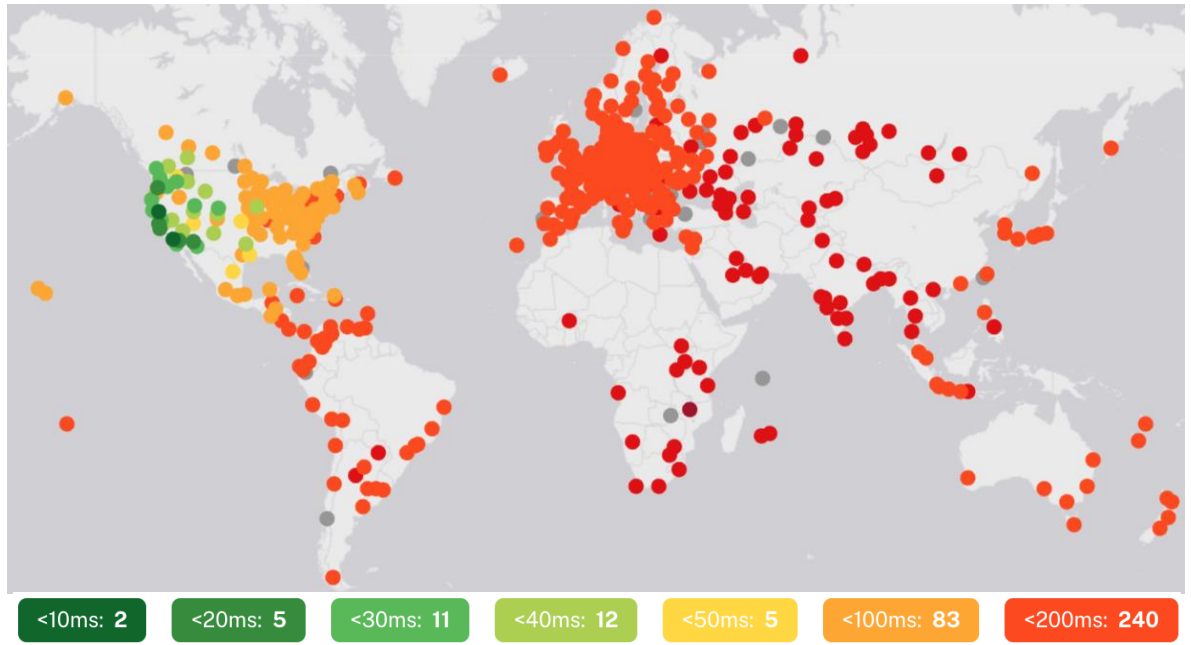


https://www.cloudflare.com/en-gb/network/

Waarom Anycast?

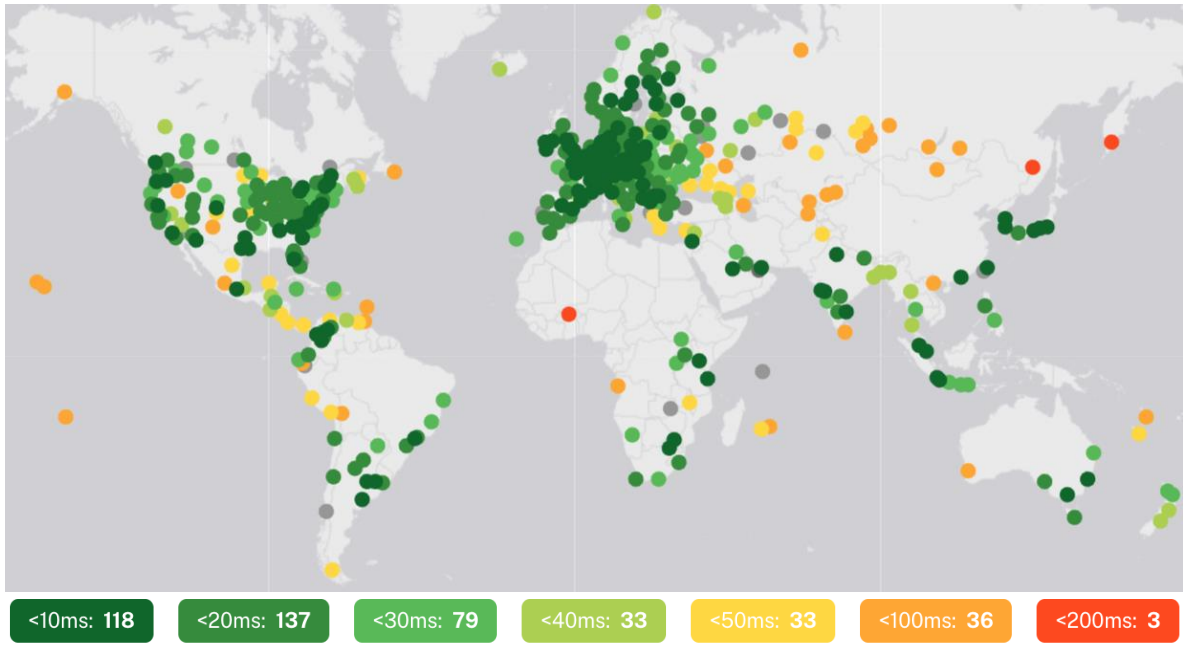
- Snelle antwoorden (dichtbij de client)
  - Clients in zowel AU als NL kunnen snel een antwoord krijgen

Unicast



https://atlas.ripe.net/measurements/79147535/

Anycast

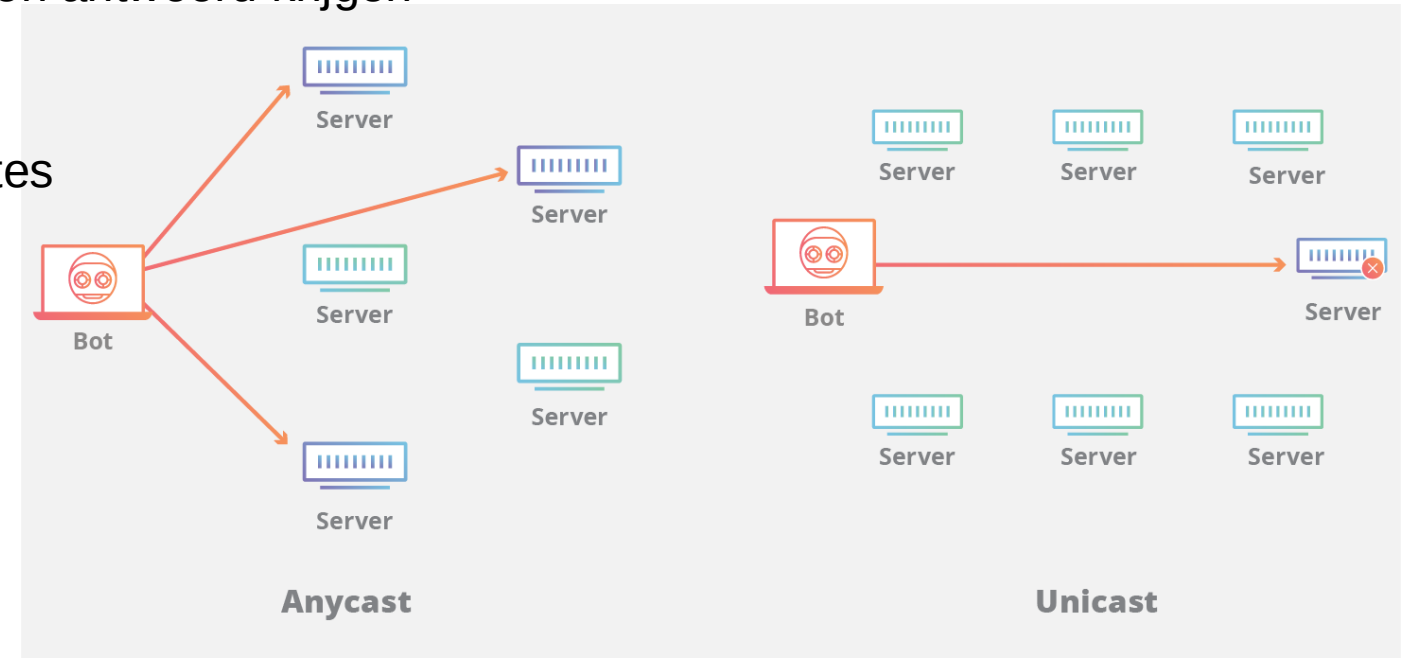


https://atlas.ripe.net/measurements/79137270/

RIPE NCC
RIPE Atlas

Waarom Anycast?

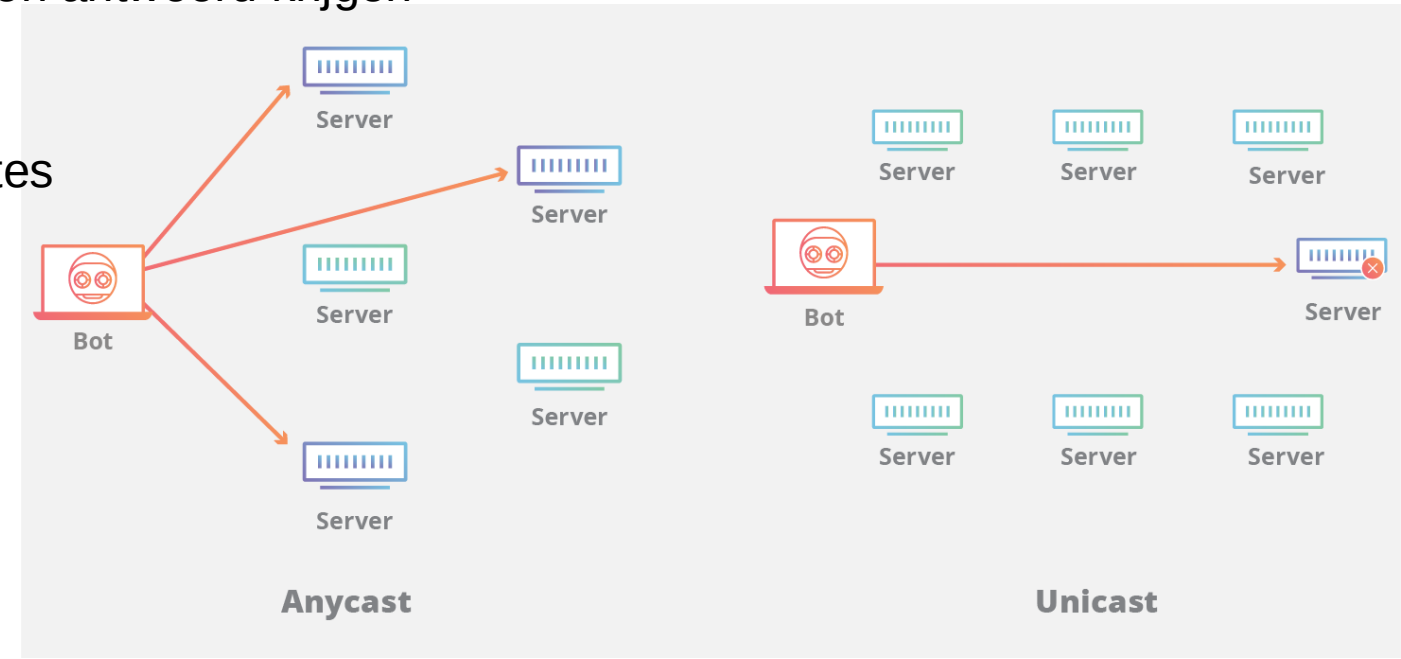
- Snelle antwoorden (dichtbij de client)
  - Clients in zowel AU als NL kunnen snel een antwoord krijgen
- Load-balancing
  - Internet verkeer wordt verdeeld tussen sites



https://www.cloudflare.com/en-gb/learning/cdn/glossary/anycast-network/

Waarom Anycast?

- Snelle antwoorden (dichtbij de client)
  - Clients in zowel AU als NL kunnen snel een antwoord krijgen
- Load-balancing
  - Internet verkeer wordt verdeeld tussen sites
- Geen 'single point of failure'
  - Locatie gaat offline?
  - Andere locaties nemen het verkeer over

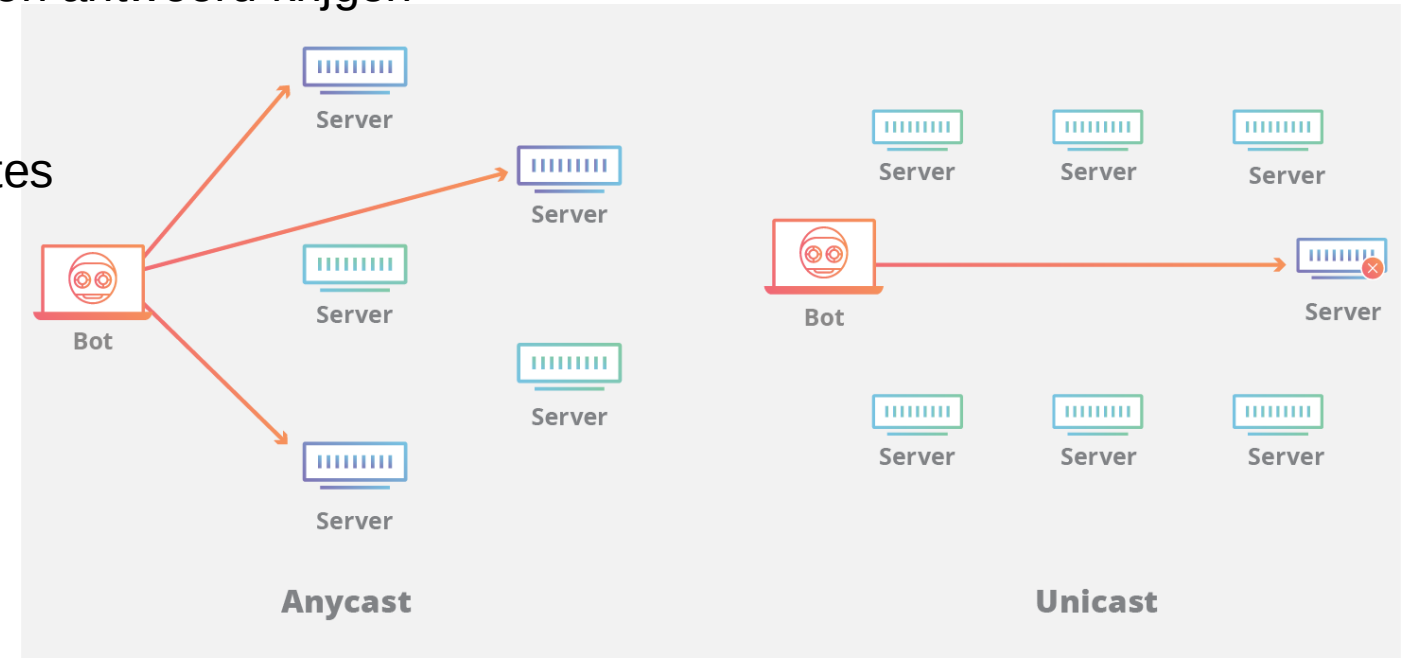


https://www.cloudflare.com/en-gb/learning/cdn/glossary/anycast-network/

Waarom Anycast?

- Snelle antwoorden (dichtbij de client)
  - Clients in zowel AU als NL kunnen snel een antwoord krijgen
- Load-balancing
  - Internet verkeer wordt verdeeld tussen sites
- Geen 'single point of failure'
  - Locatie gaat offline?
  - Andere locaties nemen het verkeer over
- Robuustheid
  - Vaak gebruikte techniek om

    DDoS aanvallen te voorkomen



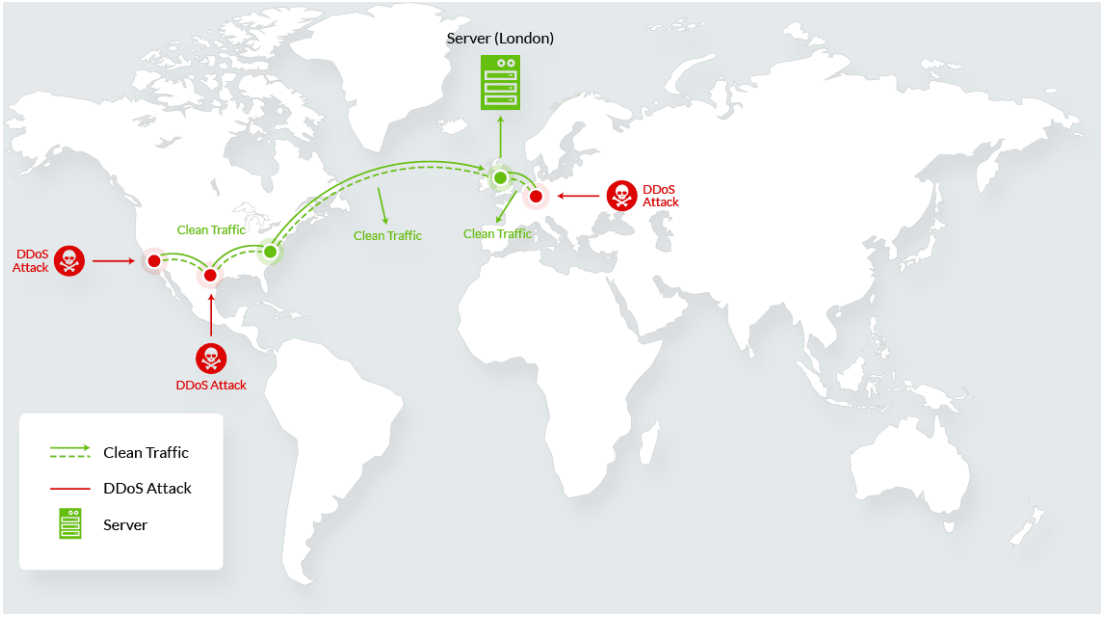
https://www.cloudflare.com/en-gb/learning/cdn/glossary/anycast-network/

Waarom Anycast?

- Klein deel van Internet adressen zijn anycast (~0.1%)
- Maar...
  - Verkeer naar/van anycast adressen significant
  - Jullie gebruiken anycast dagelijks (DNS)
    - Elke keer als je een website bezoekt

Waarom Anycast?

- Klein deel van Internet adressen zijn anycast (~0.1%)
- Maar...
  - Verkeer naar/van anycast adressen significant
  - Jullie gebruiken anycast dagelijks (DNS)
    - Elke keer als je een website bezoekt
- Voorbeelden:
  - DNS operators (zoals SIDN)
  - DNS resolvers (Cloudflare's 1.1.1.1)
  - Content Delivery Networks (Google, Amazon, Meta, …)
  - DDoS mitigatie diensten
  - En veel meer...



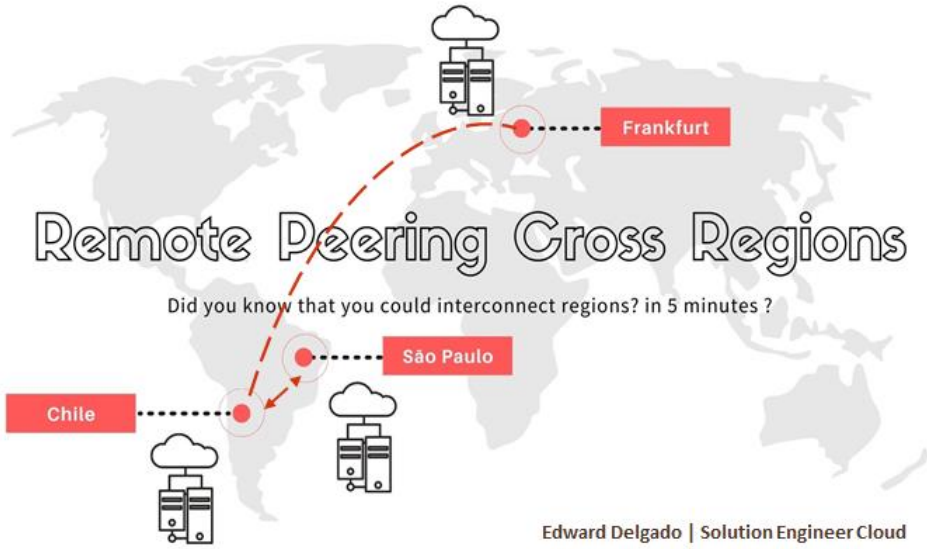
https://www.psychz.net/assets/images/mitigation/flow-chart3.png

Anycast problemen

- Anycast is fundamenteel voor het Internet
  - Veel partijen die het gebruiken
  - Van belang dat het goed werkt

Anycast problemen

- Anycast is fundamenteel voor het Internet
  - Veel partijen die het gebruiken
  - Van belang dat het goed werkt
- Probleem: Anycast routing is ingewikkeld
  - **Theorie**: clients worden naar de dichtsbijzijndste locatie gerouteerd
  - **Werkelijkheid**: clients worden naar de locatie met de minste (of goedkoopste) 'hops' gerouteerd
  - Wij zien prefixes in noord-oost China routeren naar Frankfurt, i.p.v., Seoul



https://www.linkedin.com/pulse/did-you-know-remote-peering-connection-edward-delgado/

Anycast problemen

- Het Internet is dynamisch
  - Slechte connecties verplaatsen zich over tijd
  - Gebruikers wisselen tussen anycast locaties
- Problemen vaak slecht zichtbaar
  - Lastig om de oorzaak van een probleem te vinden

Anycast problemen

- Het Internet is dynamisch
  - Slechte connecties verplaatsen zich over tijd
  - Gebruikers wisselen tussen anycast locaties
- Problemen vaak slecht zichtbaar
  - Lastig om de oorzaak van een probleem te vinden

- Oplossing -> (periodieke) infrastructuur metingen
  - Data over efficiëntie en effectiviteit
  - Problemen identificeren
  - Inzicht in locaties voor infrastructuur uitbreiding

Inhoud

1) **Inleiding**
   - Introductie
   - Internet routing en Anycast
   - **Anycast meten**
2) Metings tool
   - Technische details en metings proces
   - Features en analyse voorbeelden
   - Onderzoeksperspectief
3) Conclusie en toekomst

Anycast metings opties

- Passief verkeer analyseren
  - Gebruik bestaande data van gebruikers
  - Traffic logs laten zien hoe en waar gebruikers verbinden



https://stats.nic.cz/dashboard/en/Summary.html

Anycast metings opties

- Passief verkeer analyseren
  - Gebruik bestaande data van gebruikers
  - Traffic logs laten zien hoe en waar gebruikers verbinden
- Voordelen
  - Grootschalig analyse mogelijk
  - Werkelijke data van hoe gebruikers verbinden



https://stats.nic.cz/dashboard/en/Summary.html

Anycast metings opties

- Passief verkeer analyseren
  - Gebruik bestaande data van gebruikers
  - Traffic logs laten zien hoe en waar gebruikers verbinden
- Voordelen
  - Grootschalig analyse mogelijk
  - Werkelijke data van hoe gebruikers verbinden
- Nadelen
  - Problemen worden gezien nadat gebruikers ze ervaren
  - Beperkte data beschikbaar



https://stats.nic.cz/dashboard/en/Summary.html

Anycast metings opties

- Internet metingsinfrastructuur (NLNOG RING, RIPE Atlas, …)
  - Maakt extern meten van anycast mogelijk
  - Gebruikt probes in verschillende netwerken



https://map.ring.nlnog.net/

Anycast metings opties

- Internet metingsinfrastructuur (NLNOG RING, RIPE Atlas, …)
  - Maakt extern meten van anycast mogelijk
  - Gebruikt probes in verschillende netwerken
- Voordelen:
  - Gedetaileerde analyse mogelijk
  - (bijna) Volledige controle over meting
  - Pro-actief meten



https://map.ring.nlnog.net/

Anycast metings opties

- Internet metingsinfrastructuur (NLNOG RING, RIPE Atlas, …)
  - Maakt extern meten van anycast mogelijk
  - Gebruikt probes in verschillende netwerken
- Voordelen:
  - Gedetaileerde analyse mogelijk
  - (bijna) Volledige controle over meting
  - Pro-actief meten
- Nadelen
  - Vereist toegang tot infrastructuur (vaak beperkt)
  - Metingen alleen mogelijk vanaf netwerken met probes

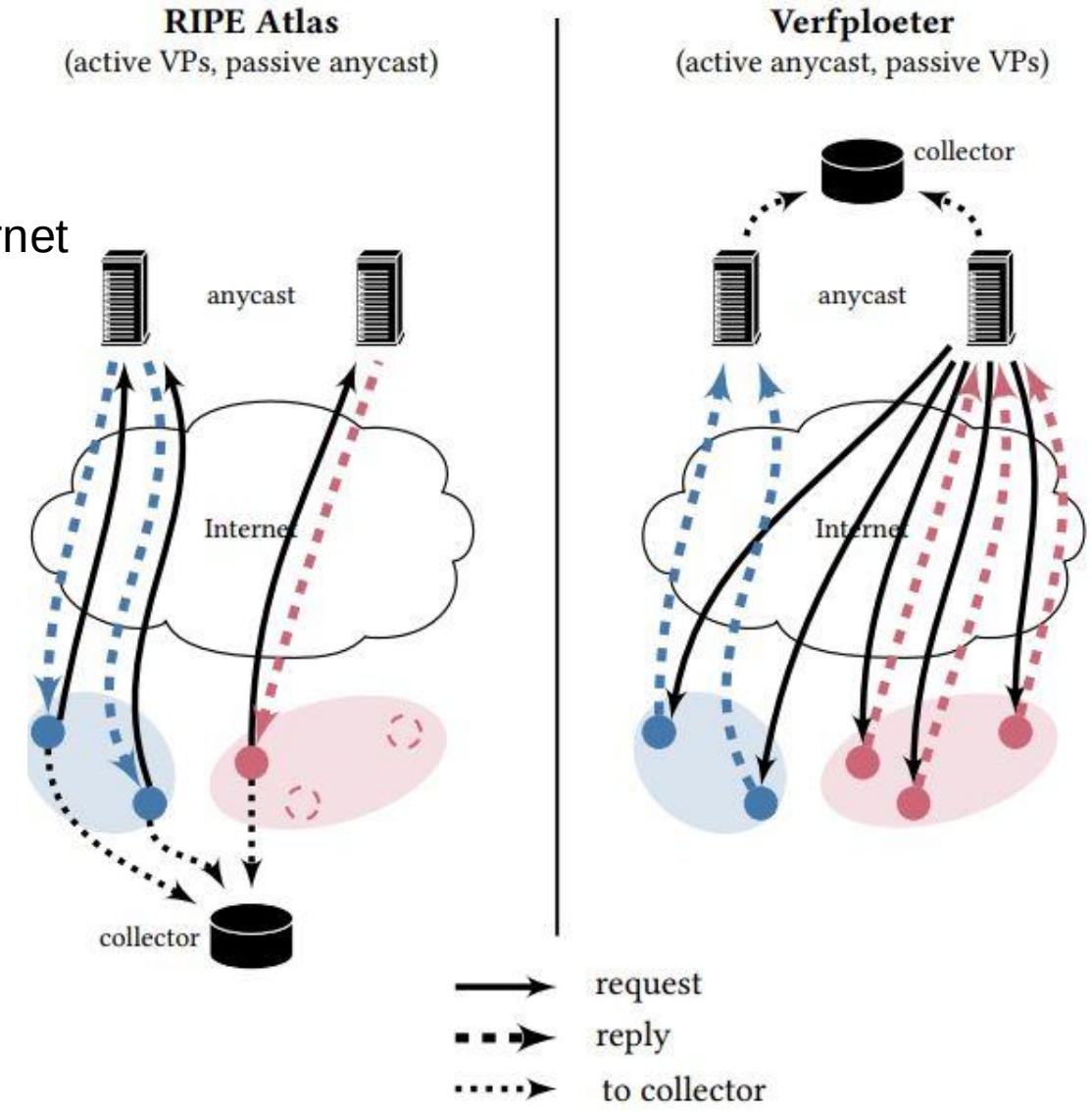


https://map.ring.nlnog.net/

Anycast metings opties

- Verfploeter [1]
  - Maakt gebruik van 'responsive hosts' op het Internet
    - Responsive hosts sturen een probe reply

      als reactie op een probe
    - Voorbeeld ping

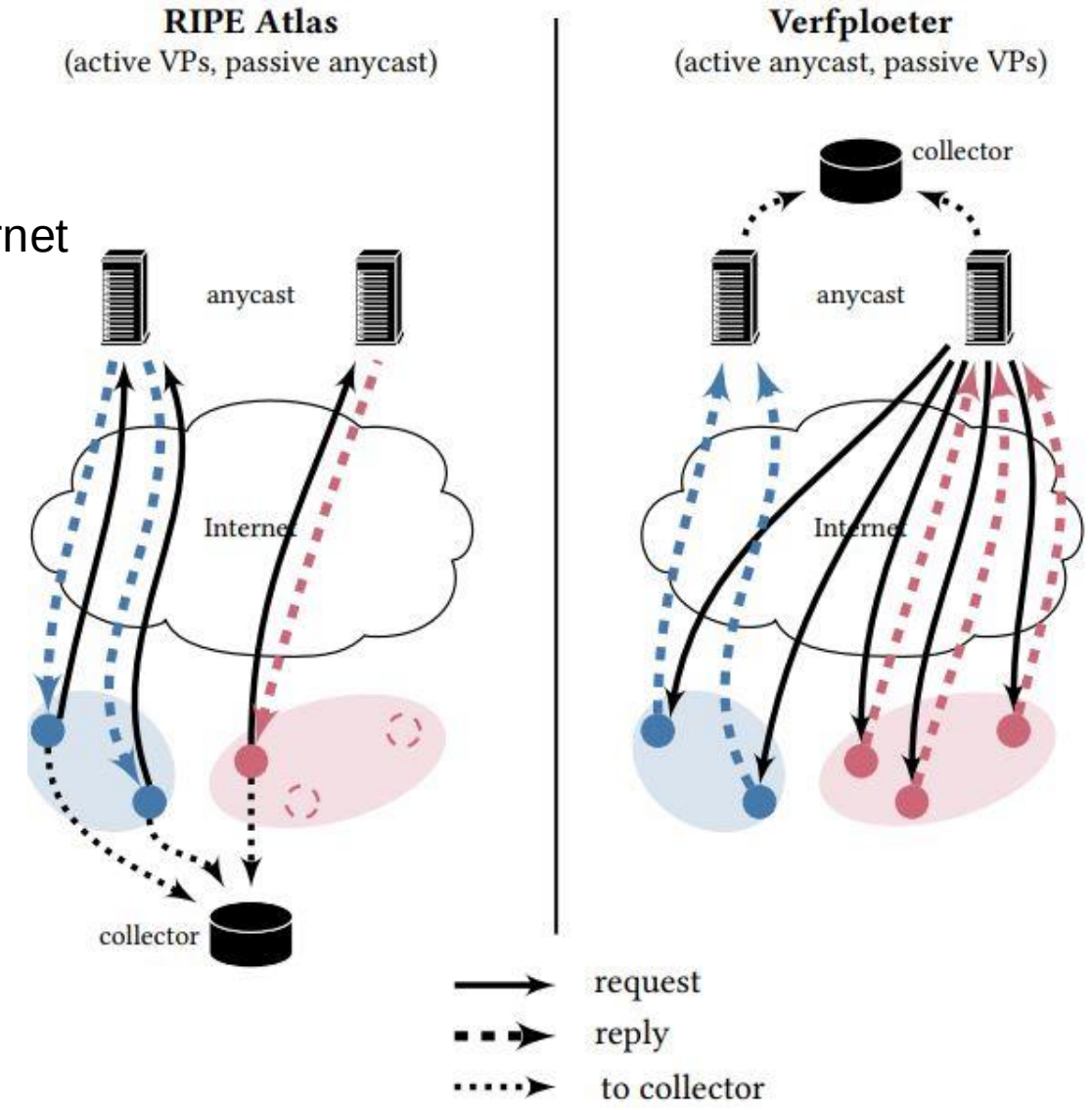


[1] https://ant.isi.edu/~johnh/PAPERS/Vries17a.pdf
ACM IMC 2017

Anycast metings opties

- Verfploeter [1]
  - Maakt gebruik van 'responsive hosts' op het Internet
    - Responsive hosts sturen een probe reply

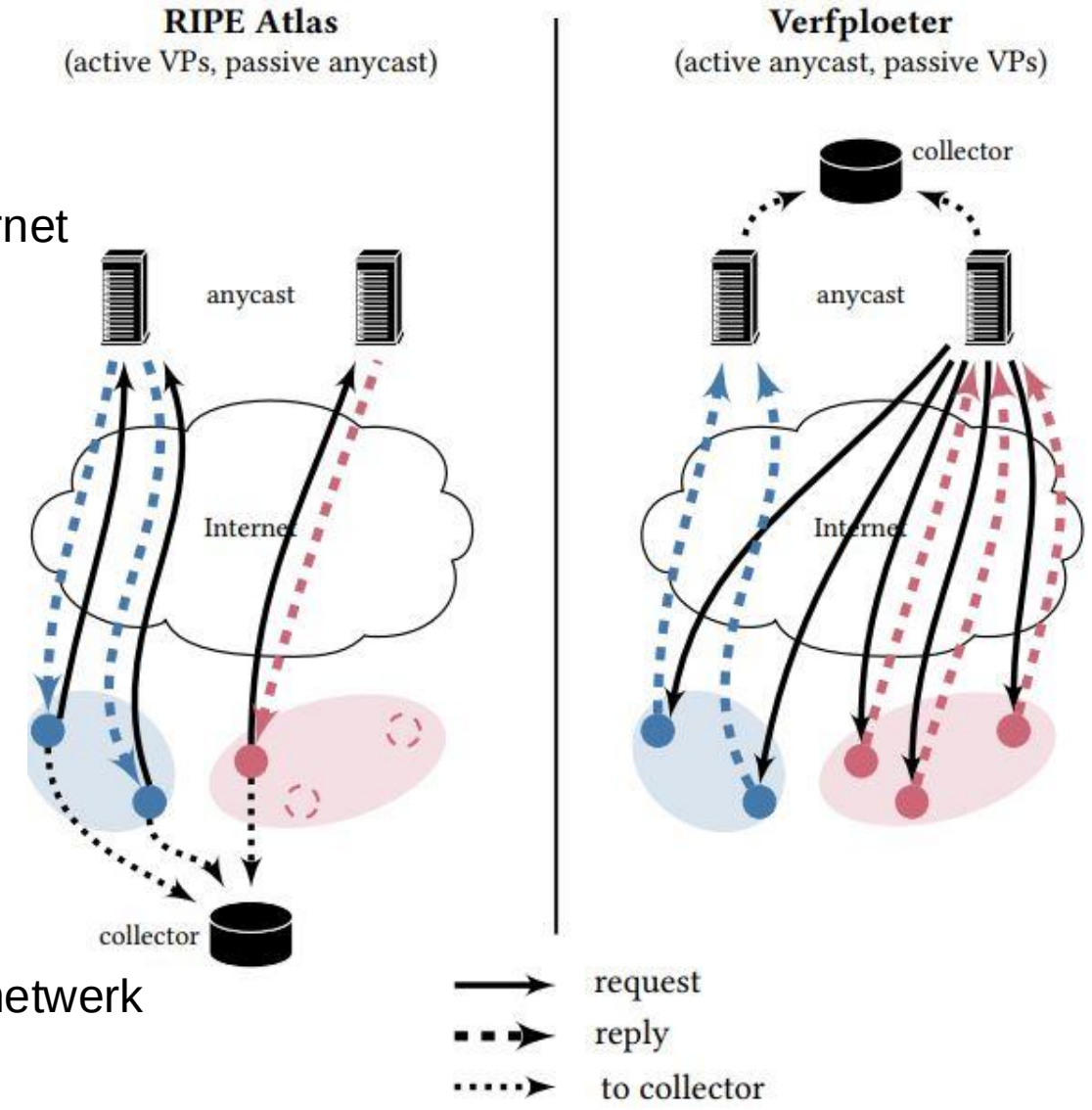
      als reactie op een probe
    - Voorbeeld ping
- Voordelen:
  - Gedetailleerde analyse mogelijk
  - Volledige controle over meting
  - Pro-actief meten
  - Miljoenen responsive hosts



[1] https://ant.isi.edu/~johnh/PAPERS/Vries17a.pdf
ACM IMC 2017

Anycast metings opties

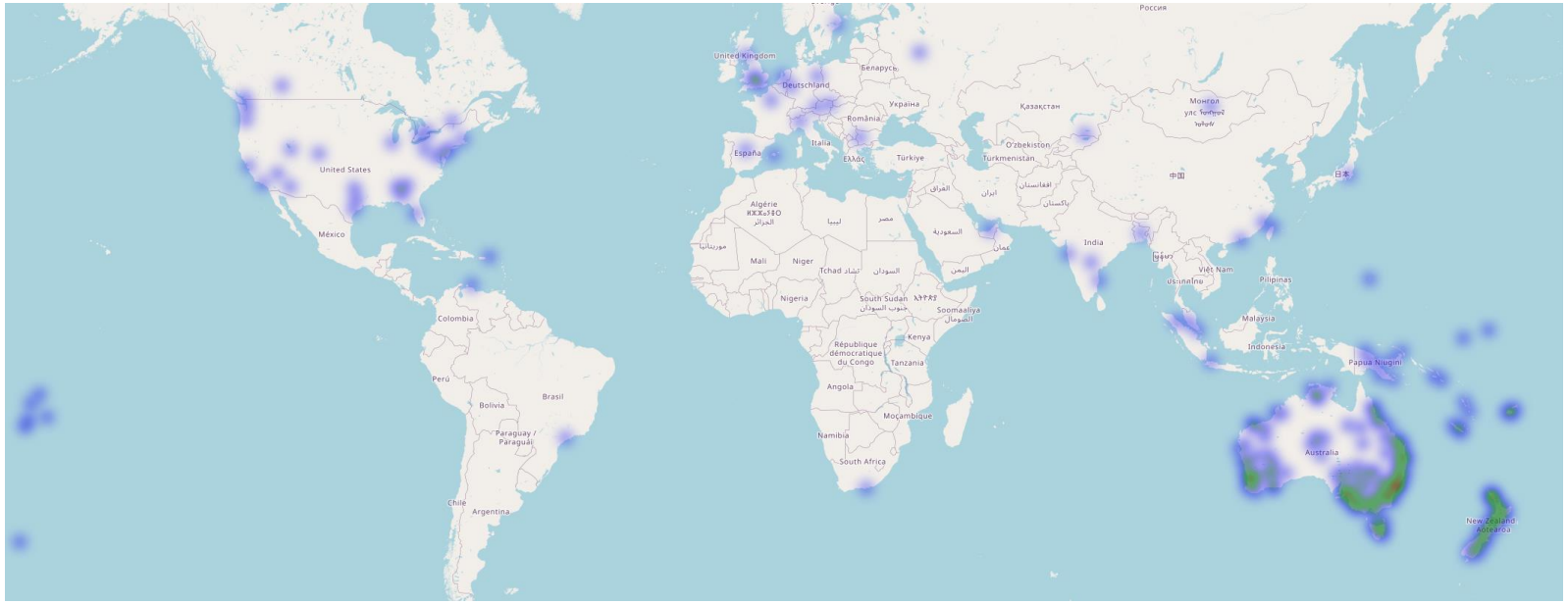
- Verfploeter [1]
  - Maakt gebruik van 'responsive hosts' op het Internet
    - Responsive hosts sturen een probe reply als reactie op een probe
    - Voorbeeld ping
- Voordelen:
  - Gedetailleerde analyse mogelijk
  - Volledige controle over meting
  - Pro-actief meten
  - Miljoenen responsive hosts
- Nadelen
  - Niet altijd een responsive host aanwezig in een netwerk



[1] https://ant.isi.edu/~johnh/PAPERS/Vries17a.pdf
ACM IMC 2017

Catchment mappings

- Verfploeter kan catchments mappen
  - Catchment mapping -> meten welke netwerken verbinden naar welke anycast site
  - Geeft informatie hoe het Internet routeert naar jouw anycast netwerk
  - Laat zien hoe load wordt verdeelt tussen anycast locaties



Heatmap van de catchment voor onze Sydney locatie

Inhoud

1) Inleiding
   - Introductie
   - Internet routing en Anycast
   - Anycast meten
2) **Metings tool**
   - **Technische details en metings proces**
   - Features en analyse voorbeelden
   - Onderzoeksperspectief
3) Conclusie en toekomst

Metings tool

- Geprogrammeerd in Rust
  - Voordelen
    1) Memory safety
    2) Efficiency
    3) Concurrency
  - Perfect voor onderzoek

    (alleen low-cost VMs ter beschikking)
  - Perfect voor operators

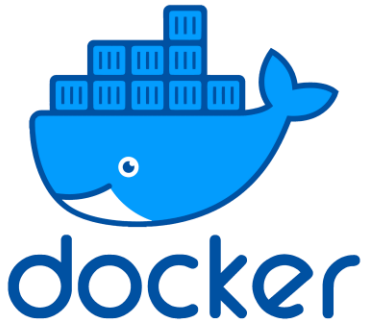
    (willen geen high burden metingstools op hun productie draaien)



Rusdoc

Metings tool

- Containerization met Docker
  - Makkelijk te deployen
  - Klein image size (paar honderd MBs)
  - Resource gebruik minimaal (weinig CPU/RAM gebruik)



Metings tool

- Systeem heeft 3 componenten
  - CLI
  - Server
  - Client

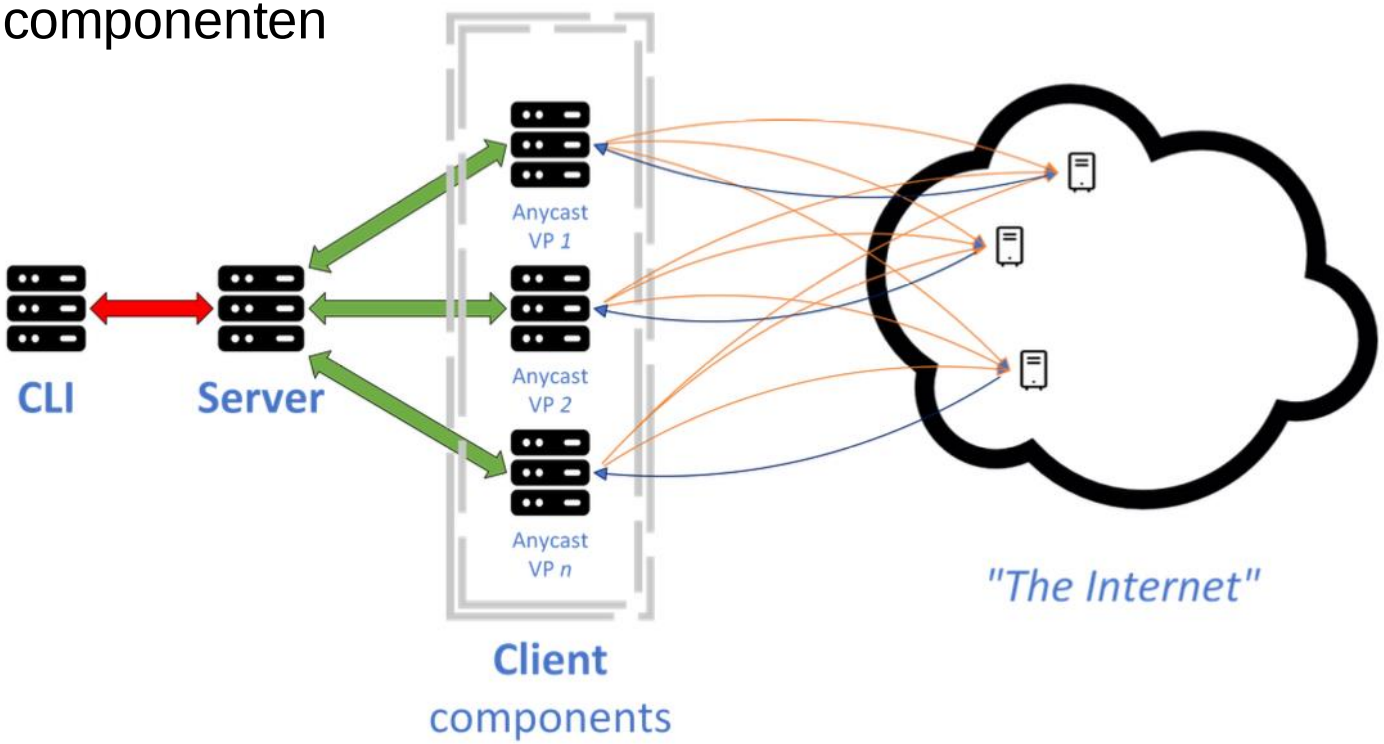


Figure 3: High-level overview of the system.

Metings proces

- Gebruiker definieert een meting met de CLI
  - Welke clients moeten proben?
  - Op welke manier?
  - Welke hitlist wordt er gebruikt?
    - Hitlist: een lijst met responsive adressen om te proben

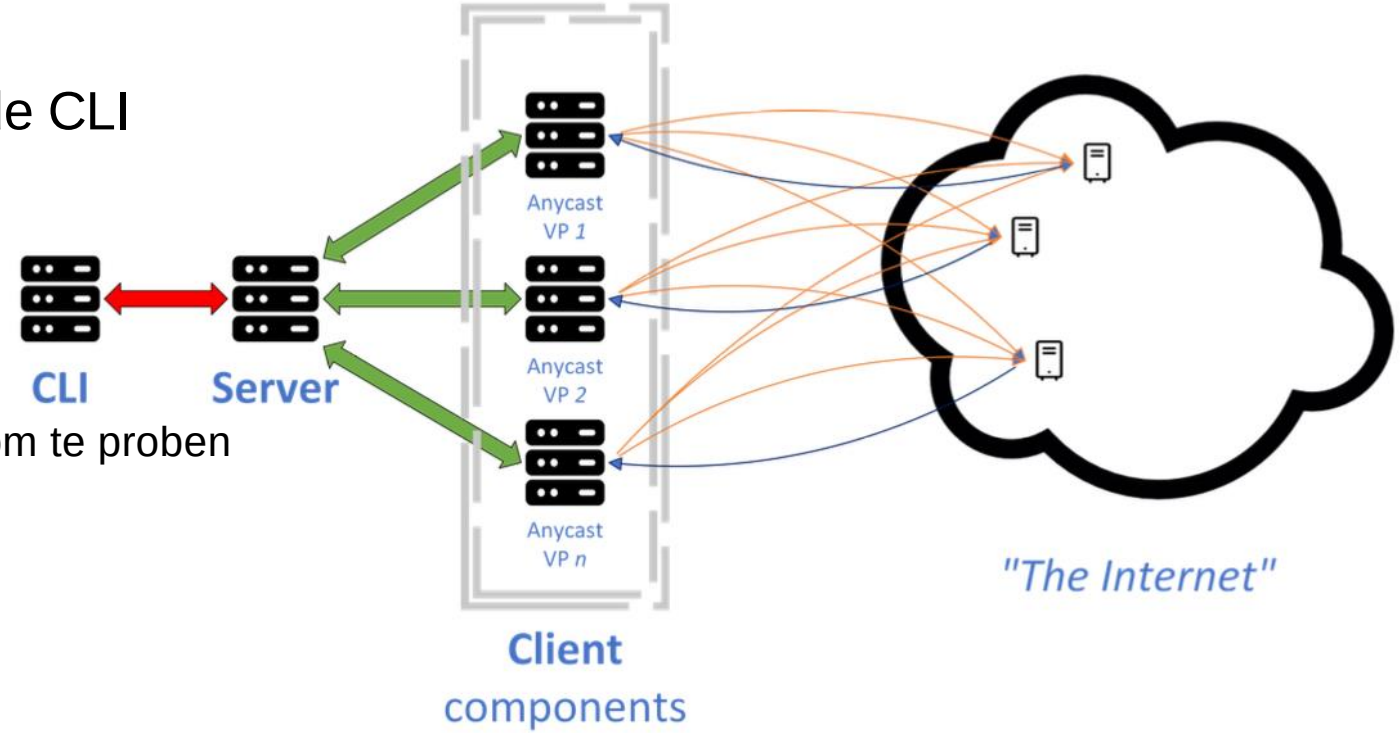


Figure 3: High-level overview of the system.

Metings proces

- Gebruiker definieert een meting met de CLI
  - Welke clients moeten proben?
  - Op welke manier?
  - Welke hitlist wordt er gebruikt?
    - Hitlist: een lijst met responsive adressen om te proben
- Server ontvangt meting definitie
  - Geeft instructies aan de clients om de meting te voltooien
  - Net als een dirigent van een orkest

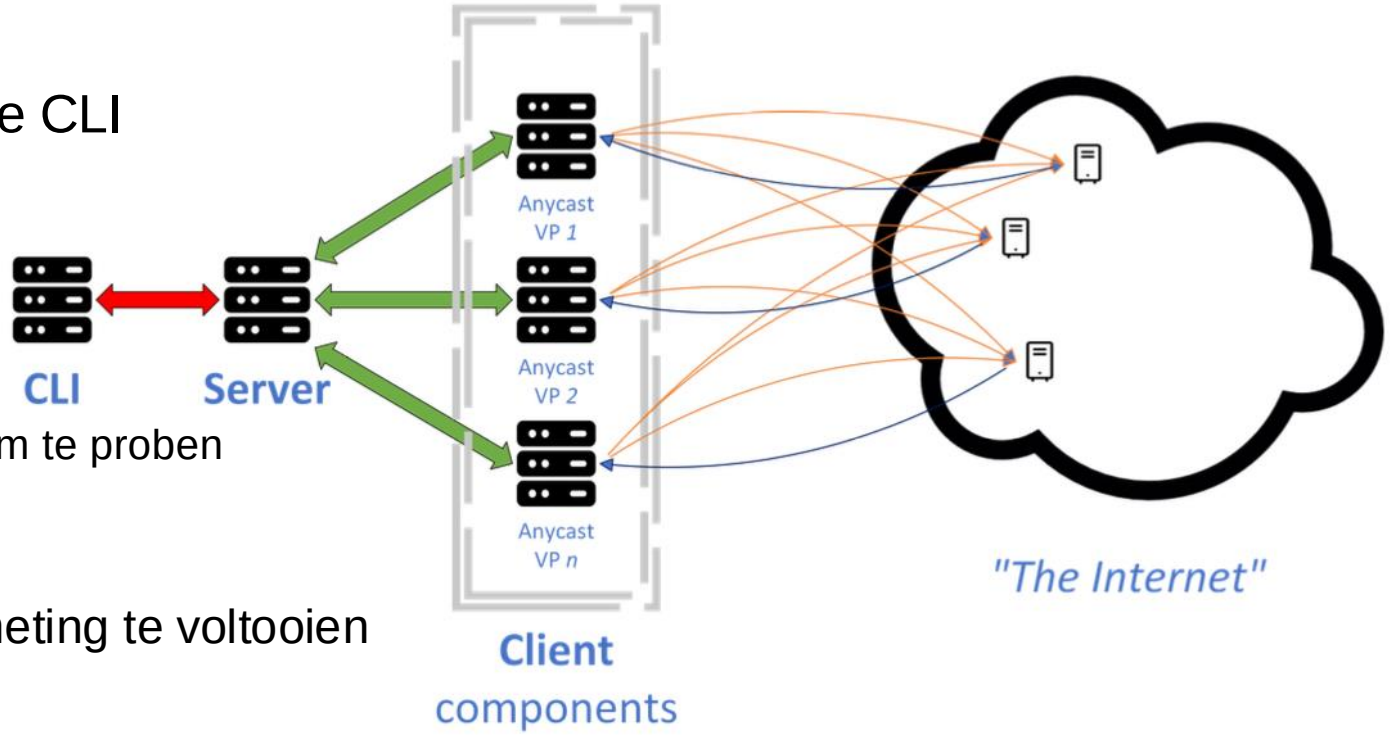


Figure 3: High-level overview of the system.

Metings proces

- Gebruiker definieert een meting met de CLI
  - Welke clients moeten proben?
  - Op welke manier?
  - Welke hitlist wordt er gebruikt?
    - Hitlist: een lijst met responsive adressen om te proben
- Server ontvangt meting definitie
  - Geeft instructies aan de clients om de meting te voltooien
  - Net als een dirigent van een orkest
- Clients voeren de meting uit
  - Sturen probes naar het Internet
  - Ontvangen probe replies

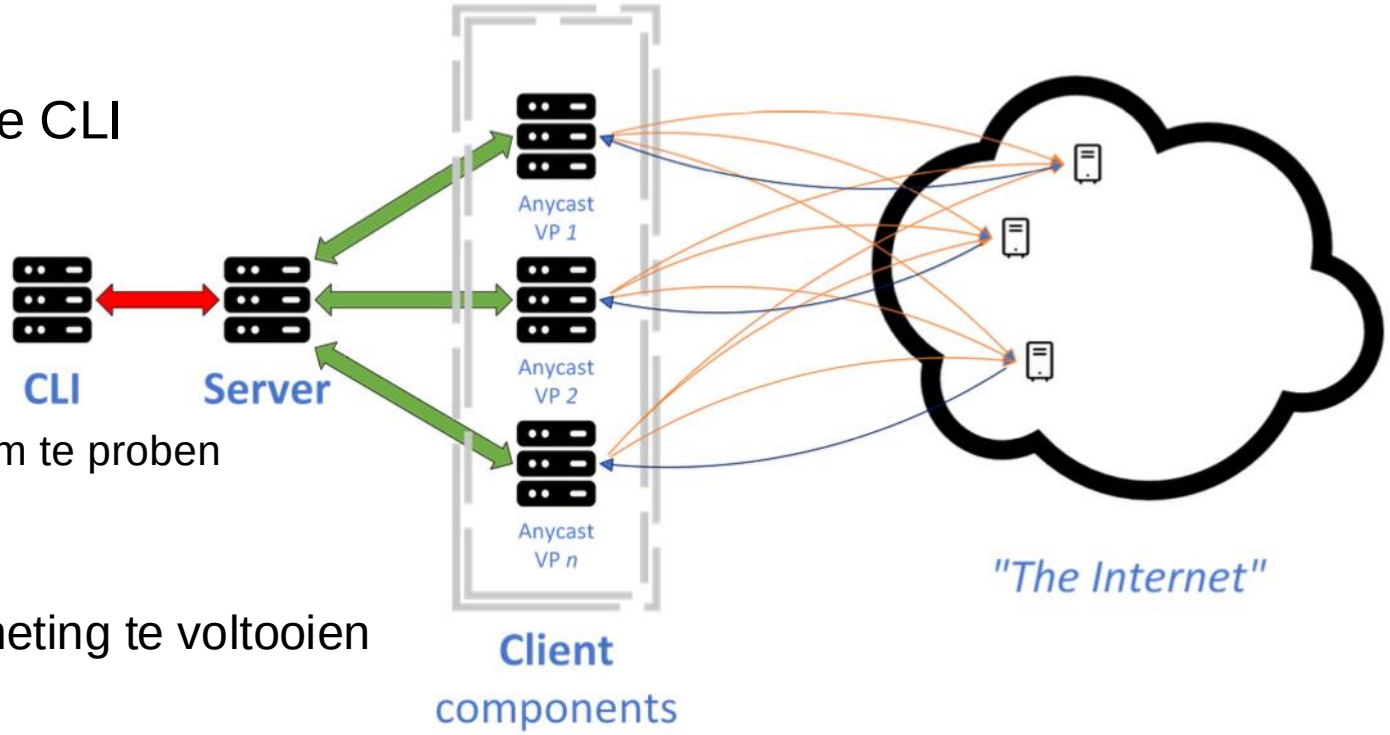


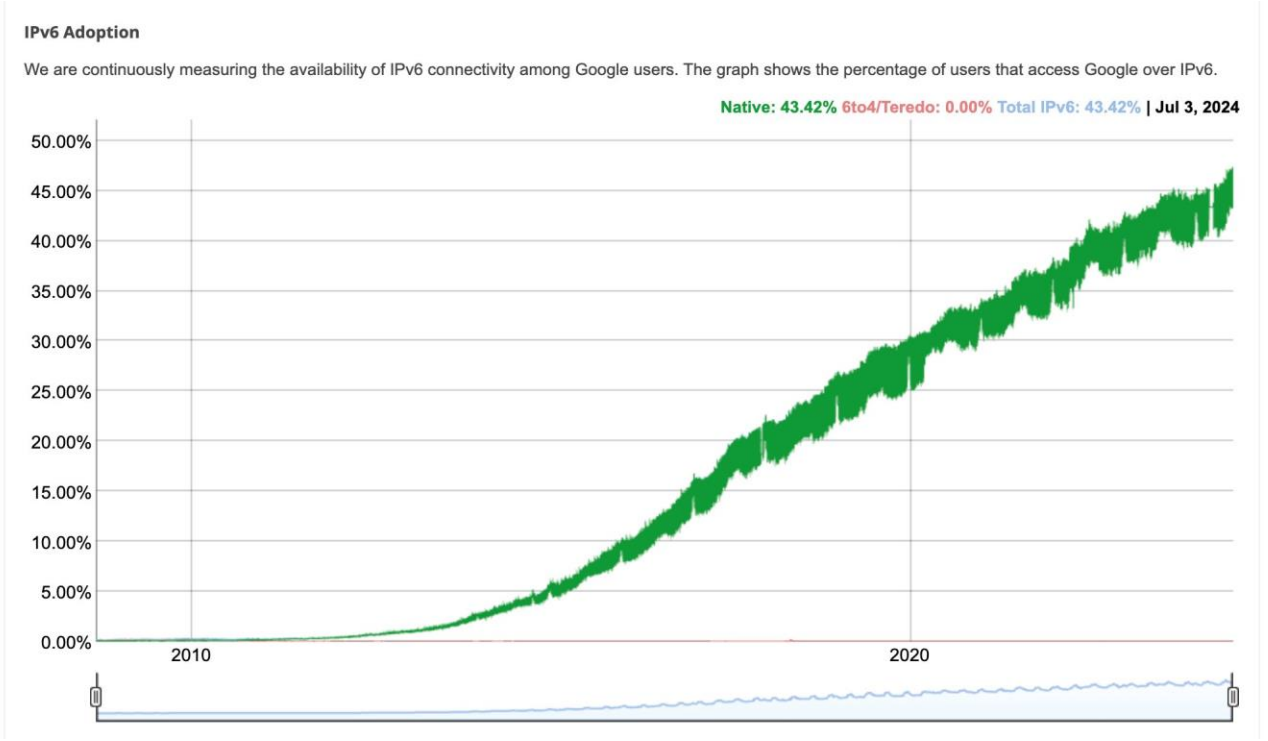
Figure 3: High-level overview of the system.

Inhoud

1) Inleiding
   - Introductie
   - Internet routing en Anycast
   - Anycast meten
2) **Metings tool**
   - Technische details en metings proces
   - **Features en analyse voorbeelden**
   - Onderzoeksperspectief
3) Conclusie en toekomst

Features IPv6

- Originele Verfploeter tool kan alleen IPv4 meten
- Nieuwe versie kan ook IPv6 meten
- Weinig onderzoek in IPv6 anycast
  - Wij zien grote verschillen in routing
  - IPv6 anycast minder stabiel



Features
Transport Protocols

- Originele Verfploeter tool kan alleen meten met ping (ICMP)
- Anycast diensten gebruiken TCP/UDP
  - Routing verschilt voor ICMP en TCP/UDP
  - Is een catchment meting met ICMP geldig voor TCP/UDP?

Features
Transport Protocols

- Originele Verfploeter tool kan alleen meten met ping (ICMP)
- Anycast diensten gebruiken TCP/UDP
  - Routing verschilt voor ICMP en TCP/UDP
  - Is een catchment meting met ICMP geldig voor TCP/UDP?
- Tool kan ook met TCP en UDP catchment mappings doen
  - Onze metingen laten zien dat ICMP geldig is voor TCP/UDP
  - Meer responsive hosts door ook met TCP/UDP te proben

Features
Multi-Origin probing

- Tool kan tegelijk proben met verschillende 'origins'
  - Origin -> source adres, source port, destination port

Features
Multi-Origin probing

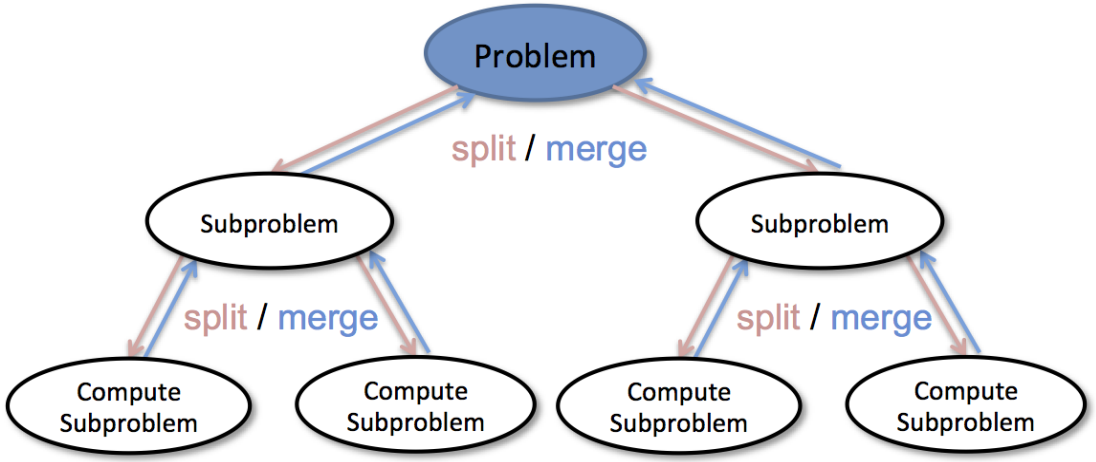
- Tool kan tegelijk proben met verschillende 'origins'
  - Origin -> source adres, source port, destination port
- Mogelijke toepassing
  - Je kan meerdere anycast adressen tegelijk meten

Features
Multi-Origin probing

- Tool kan tegelijk proben met verschillende 'origins'
  - Origin -> source adres, source port, destination port
- Mogelijke toepassing
  - Je kan meerdere anycast adressen tegelijk meten
- Voorbeeld:
    - Dupliceer een anycast adres (X en Y)
    - Maak een kleine wijziging aan Y (dit adres wordt niet meer ge-announced in Amsterdam)
    - Doe een catchment mapping voor X en Y tegelijkertijd
    - Data laat zien wat er met de anycast infrastructuur zou gebeuren als Amsterdam offline gaat

Features
Divide-and-conquer

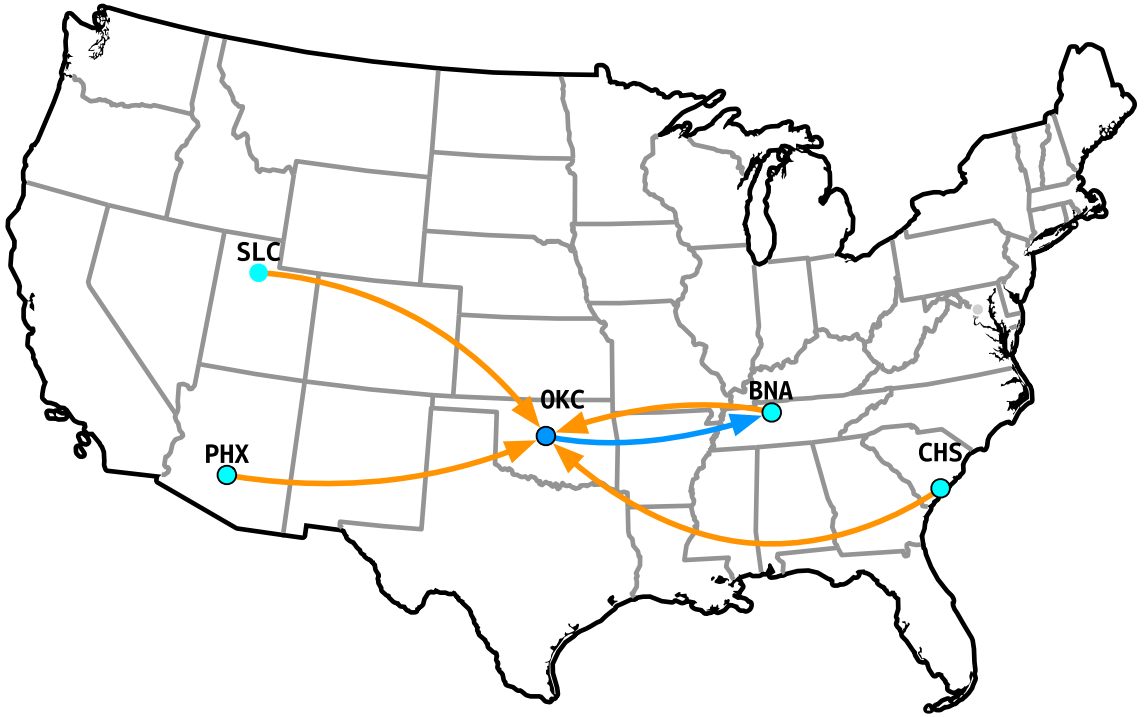
- Catchment mappings kunnen worden gedaan met een divide-and-conquer approach
  - Elke client probed een ander deel van de hitlist
  - Versnelt een catchment mapping significant



*https://miro.medium.com/v2/resize:fit:1150/1*kPXTT7fBFyeFjEYA0RqwaQ.png*

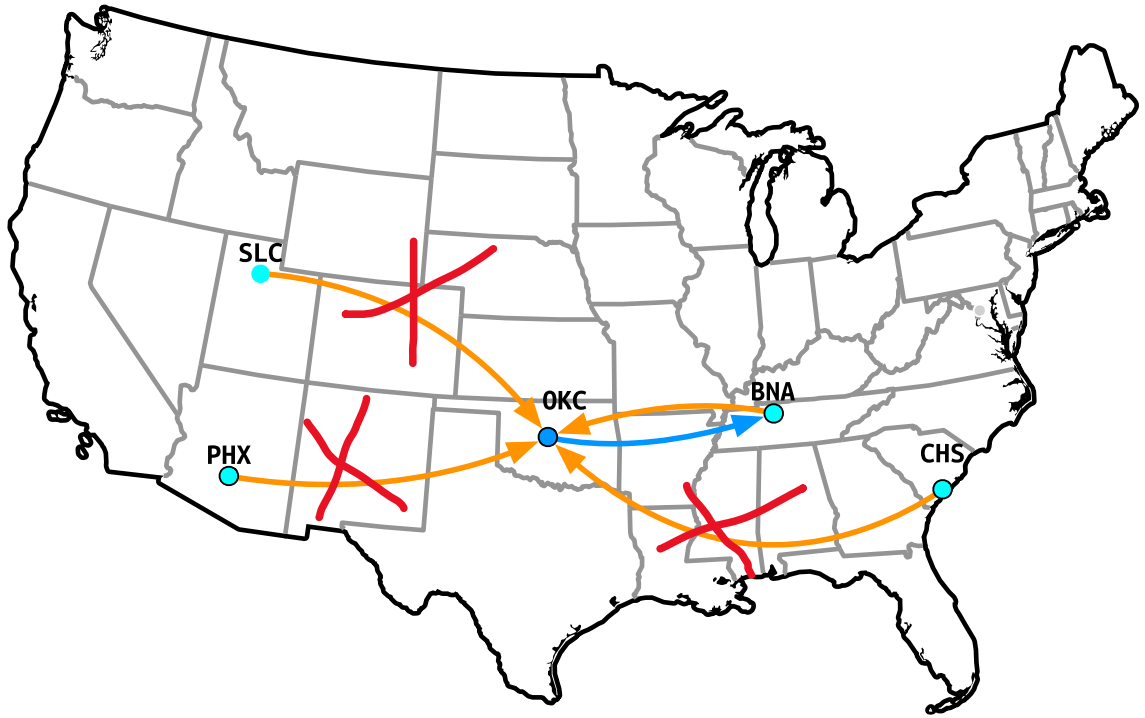
Features
Multi-client probing

- Alle clients kunnen de hele hitlist proben
  - Lichtblauw -> onze anycast locaties
  - Donkerblauw -> de responsive host
  - Alle replies van de host worden teruggestuurt naar de dichstbijzijnste locatie



Features
Multi-client probing

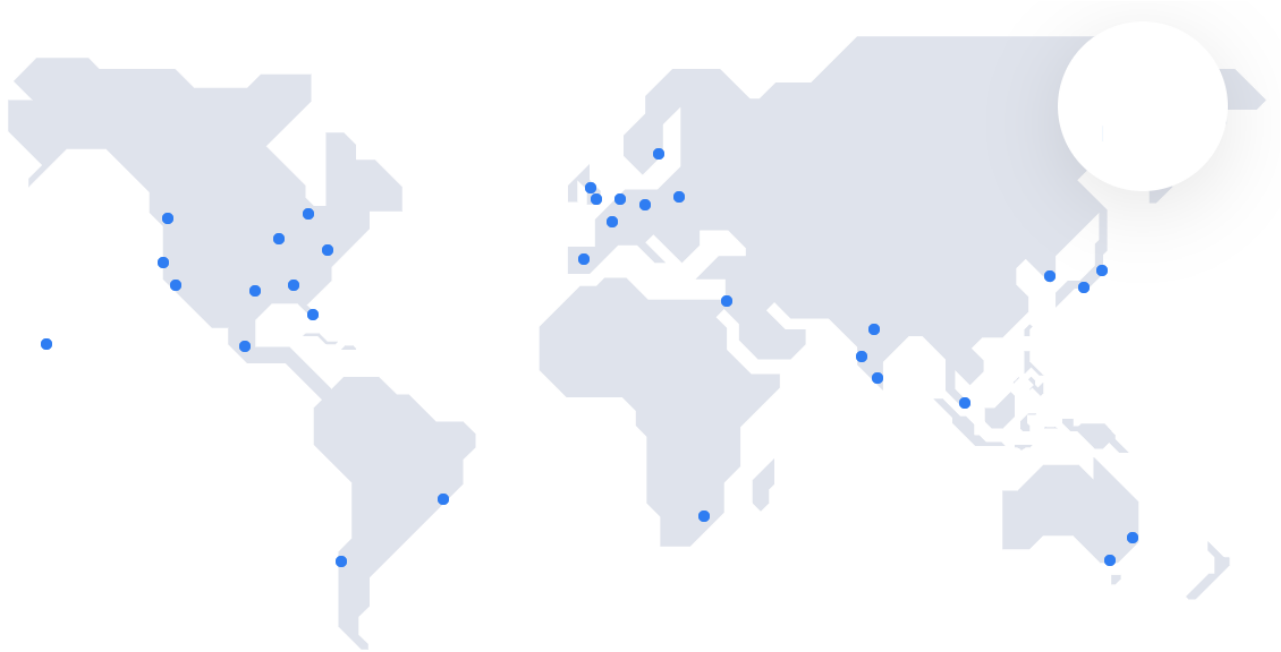
- Als je filtert op de probe van BNA:
  - Heb je een symmetrische metingen (zender == ontvanger)
  - Je kan de latency meten door te kijken naar de zending- en ontvangsttijden



Features
Multi-client probing

- Dit proces kan je herhalen voor de hele hitlist
  - Latency data naar miljoenen netwerken
  - Grofweg voor het hele Internet

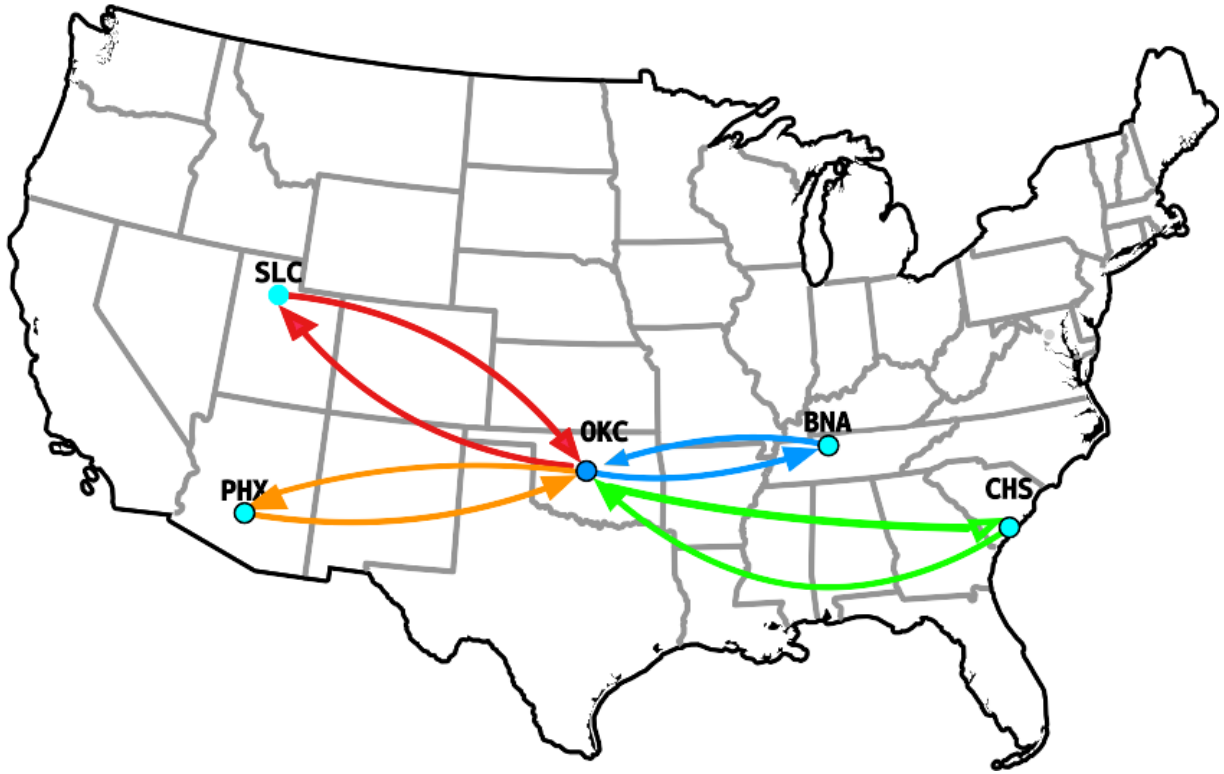
```
Average   65.7 ms
25%       9.8 ms
50%       23.5 ms
75%       74.1 ms
```



Onze anycast testbed (32 locaties)

Features
Unicast proben

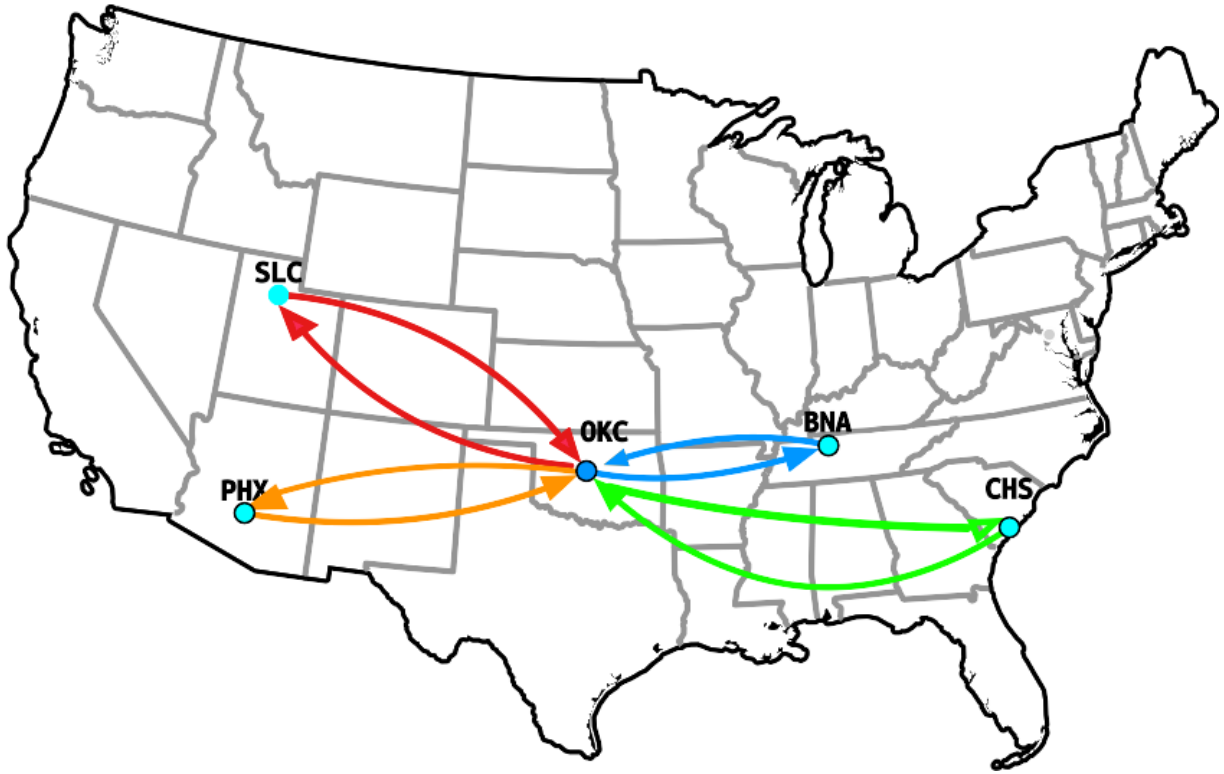
- Anycast sites hebben een gedeeld anycast adres
  - Maar ook ieders een uniek unicast adres



Features
Unicast proben

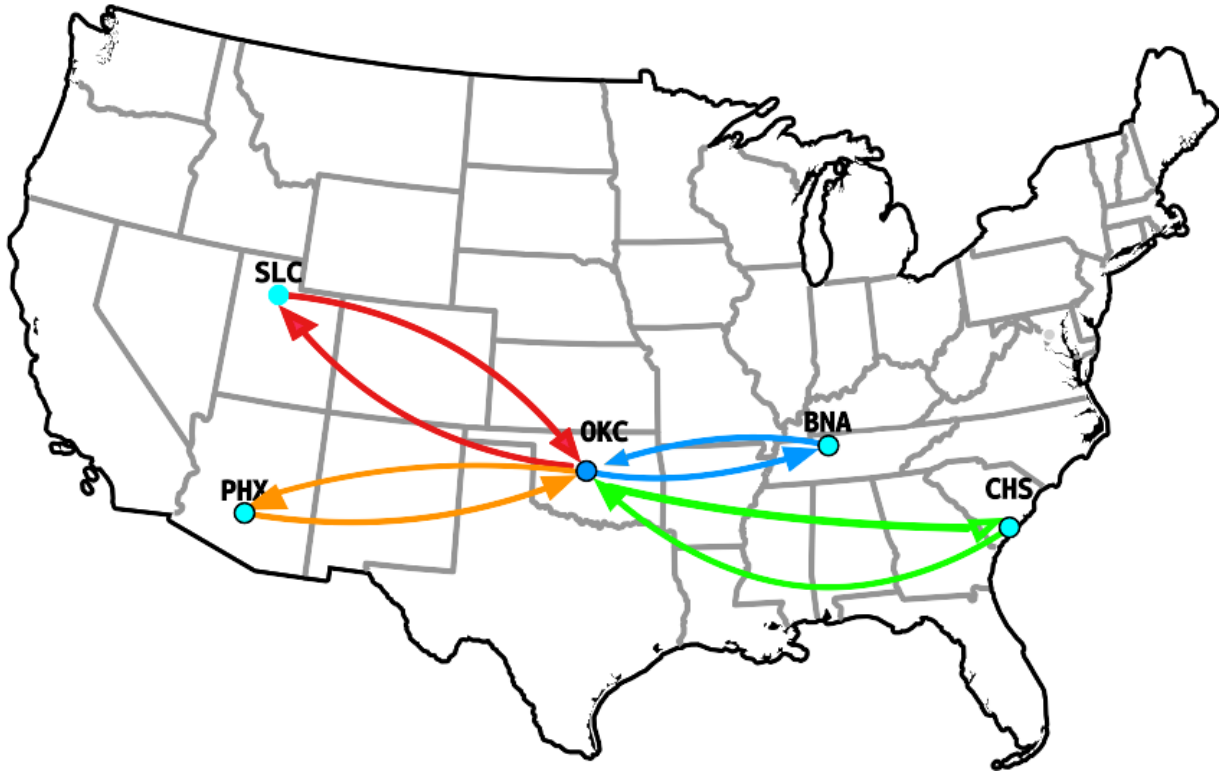
- Anycast sites hebben een gedeeld anycast adres
  - Maar ook ieders een uniek unicast adres
- Je kan hiermee de latency meten
  - Van elke site, naar elke client
- Vergelijk unicast latencies
  - De laagste latency

    Is de best haalbare latency



Features
Unicast proben

- Herhaal dit voor de hele hitlist
  - Best haalbare latency voor elke host
- Vergelijk met anycast latency
  - Hoe goed is de anycast infrastructuur?
  - Tot hoeverre kan het verbetert worden?



Catchment analysis
Anycast RTT data vs. best-case unicast RTT

- min($RTT_{unicast}$) mean is 39.4 ms

Catchment analysis
Anycast RTT data vs. best-case unicast RTT

- $\min(RTT_{unicast})$ mean is 39.4 ms
- $RTT_{anycast}$ mean is 65.7 ms

Catchment analysis
Anycast RTT data vs. best-case unicast RTT

- $\min(RTT_{unicast})$ mean is 39.4 ms
- $RTT_{anycast}$ mean is 65.7 ms
- $\Delta = RTT_{anycast} - \min(RTT_{unicast}) =$ 26.3 ms

Catchment analysis
Anycast RTT data vs. best-case unicast RTT

- $\min(RTT_{unicast})$ mean is 39.4 ms
- $RTT_{anycast}$ mean is 65.7 ms
- $\Delta = RTT_{anycast} - \min(RTT_{unicast})$ = 26.3 ms
  - Latency is 26 ms hoger door clients die niet naar de dichstbijzijnste locatie routen
  - Infrastructuur latency kan worden verbetert met +40%

Voorbeeld analyses

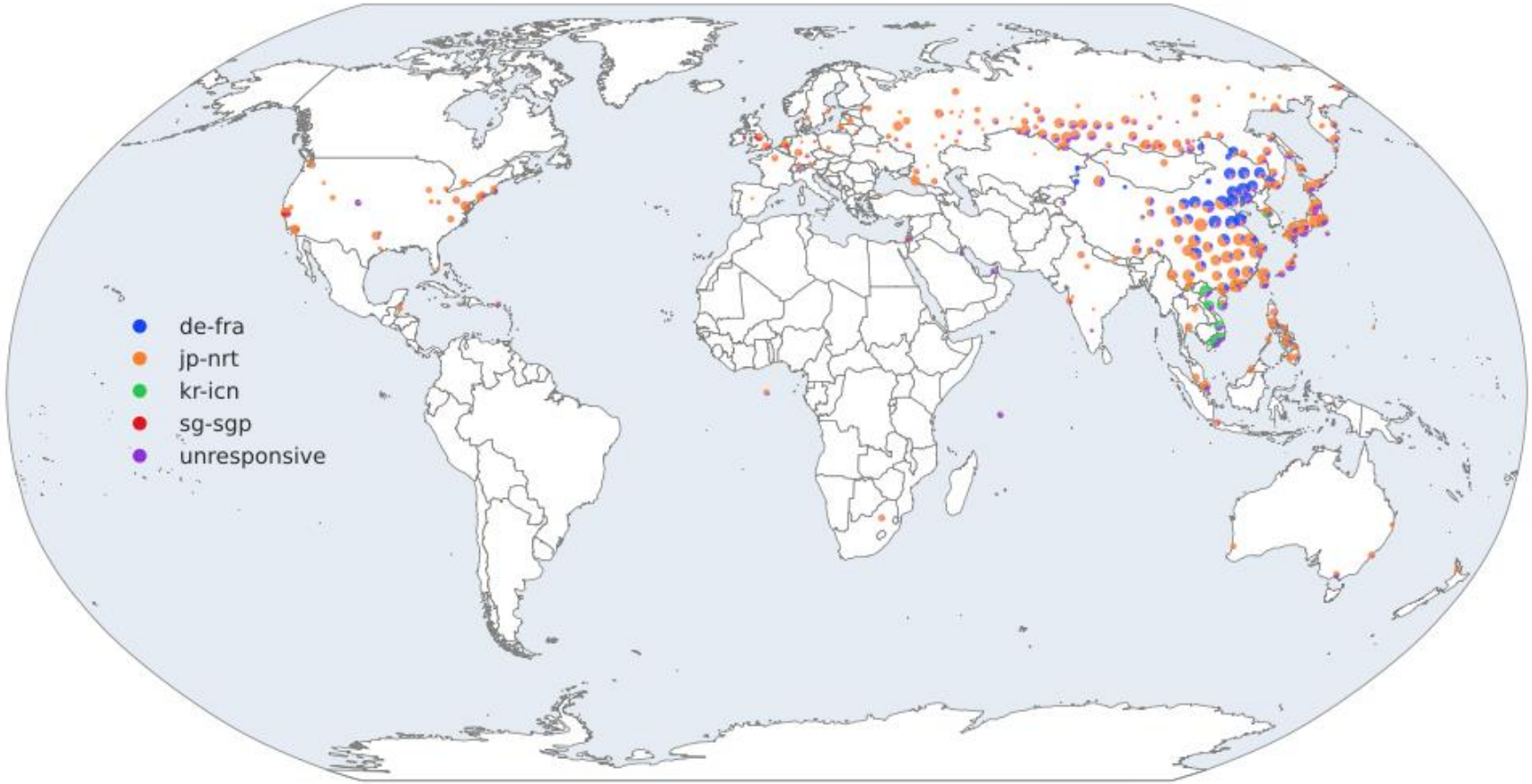
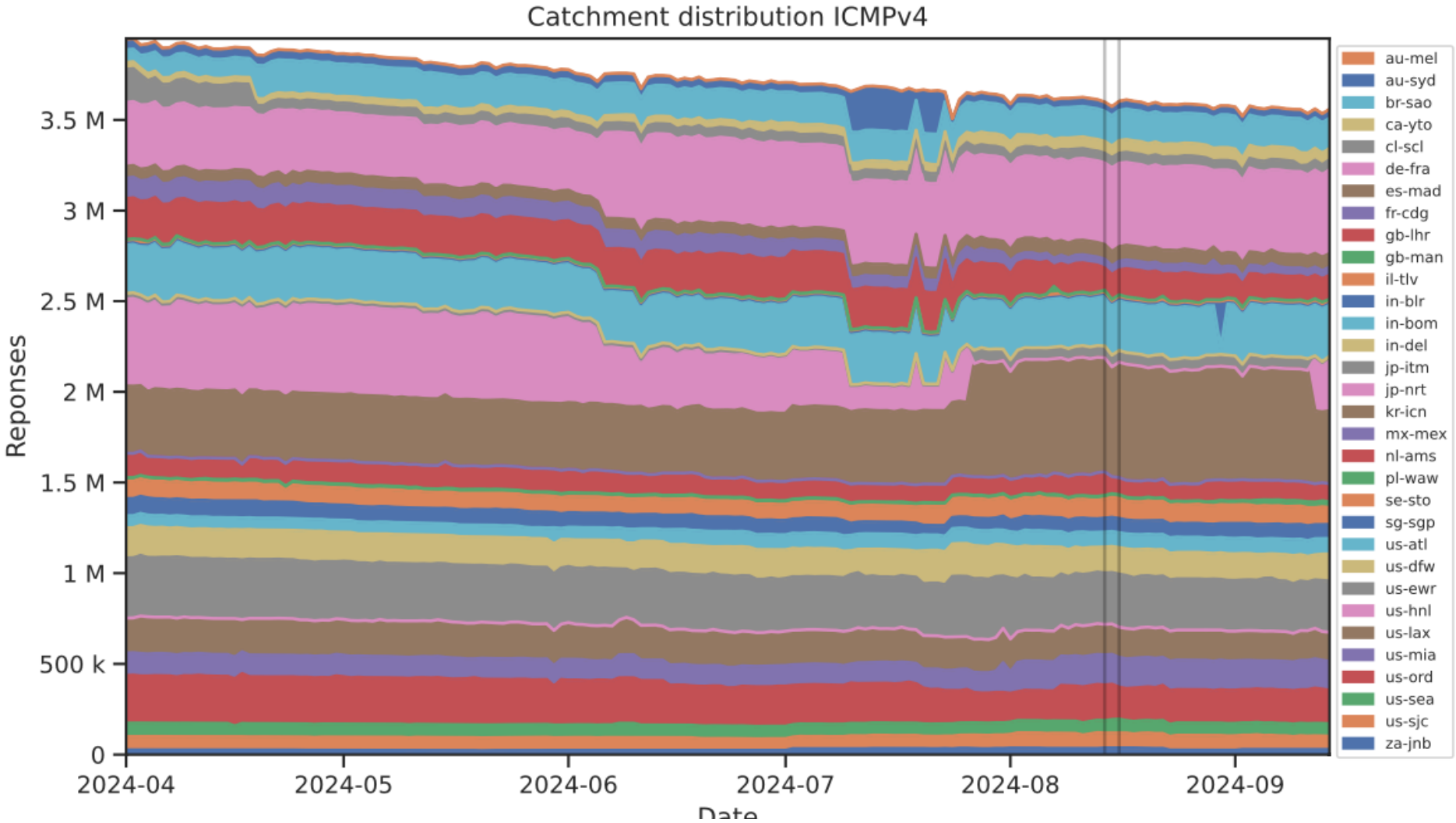


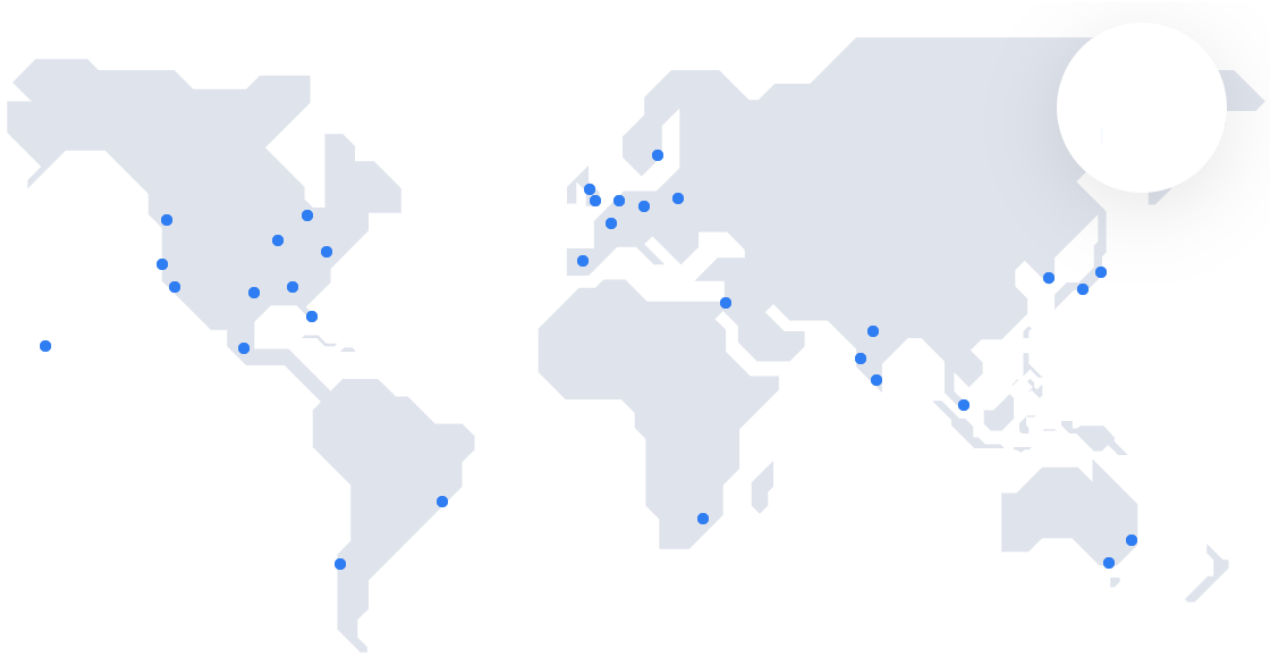
Fig. 7: Visualization of the geolocation of prefixes in the catchment of jp-nrt on April 1st, and where they re-routed to on July 1st indicated with pie charts.

Voorbeeld analyses



Catchment analysis
Anycast RTT data (example)

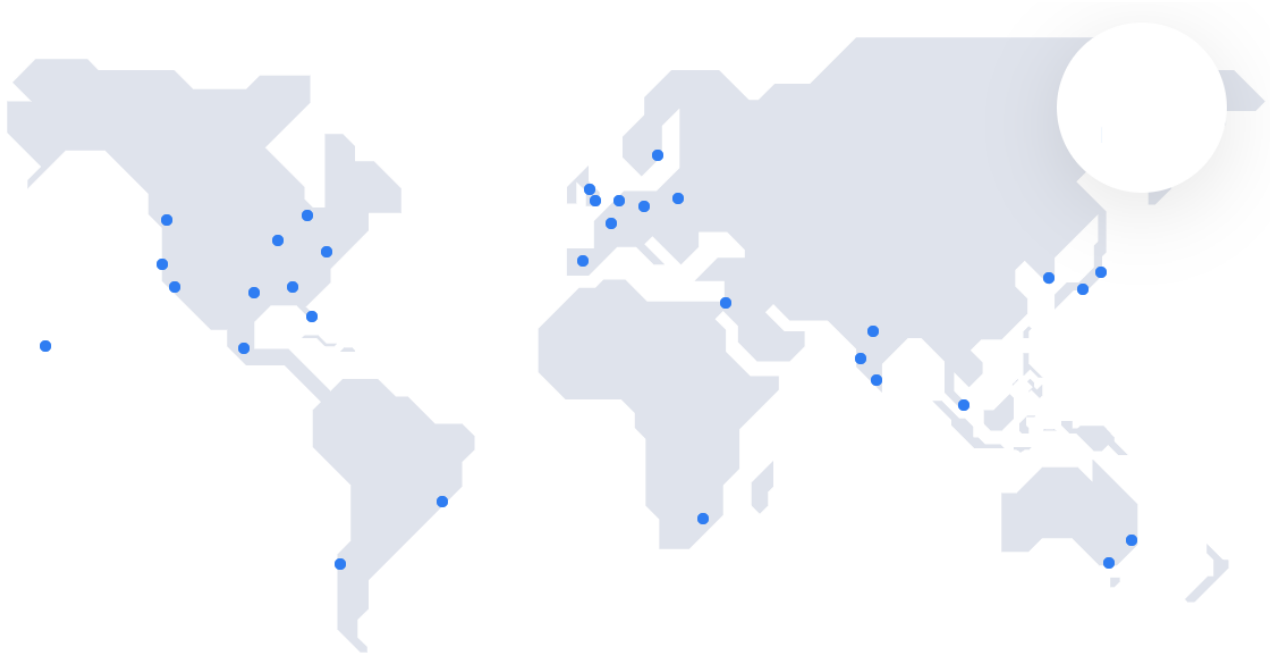
Site	Mean RTT (in ms)	Catchment size
de-fra	111.3	385,264
kr-icn	60.8	379,341
us-ewr	29.3	268,475
in-bom	146.1	264,222
jp-nrt	88.3	233,544
us-ord	29.3	194,599
us-mia	109.2	150,184
us-lax	51.3	146,907
br-sao	101.6	146,285
gb-lhr	33.1	140,632



Onze anycast testbed (32 locaties)

Catchment analysis
Anycast RTT data (example)

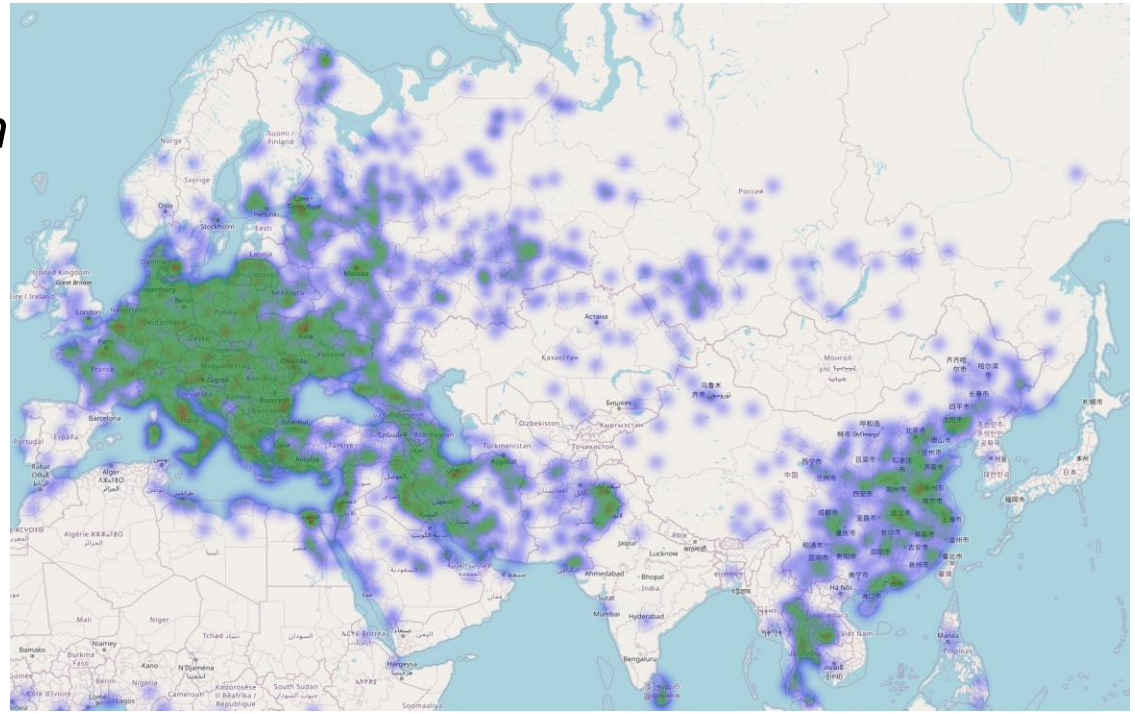
Site	Mean RTT (in ms)	Catchment size
de-fra	111.3	385,264
kr-icn	60.8	379,341
us-ewr	29.3	268,475
in-bom	146.1	264,222
jp-nrt	88.3	233,544
us-ord	29.3	194,599
us-mia	109.2	150,184
us-lax	51.3	146,907
br-sao	101.6	146,285
gb-lhr	33.1	140,632



Onze anycast testbed (32 locaties)

Catchment analysis
Anycast RTT data (example)

- Zooming in on de-fra
- Mapping target locations using *ip2location*
- Large number of Chinese prefixes (99k)
  - Most from a few ASes

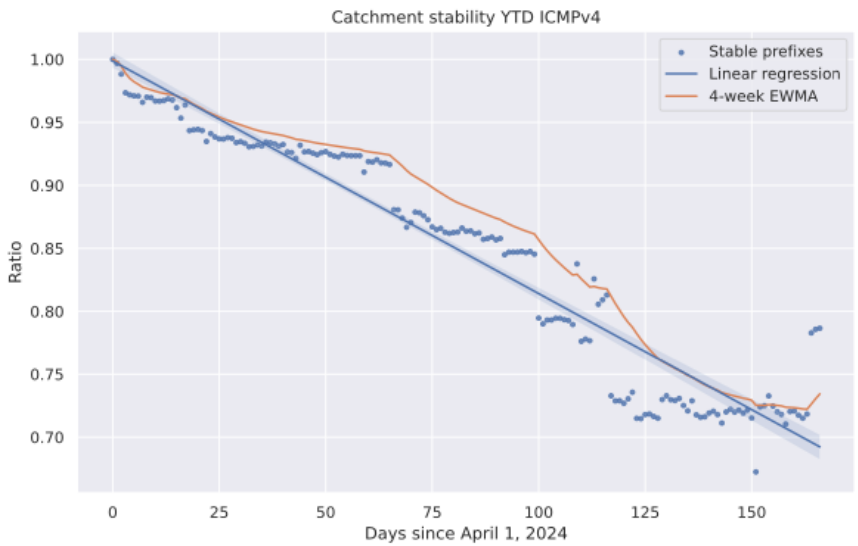


Inhoud

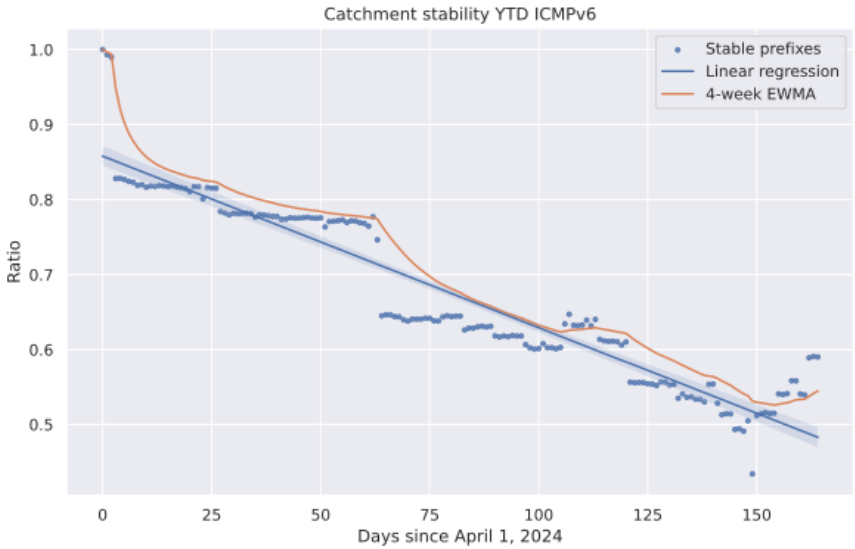
1) Inleiding
   - Introductie
   - Internet routing en Anycast
   - Anycast meten
2) **Metings tool**
   - Technische details en metings proces
   - Features en analyse voorbeelden
   - **Onderzoeksperspectief**
3) Conclusie en toekomst

Onderzoeks perspectief

- Wij gebruiken de metings tool voor onderzoek
  - Longitudinal catchment analysis
    - Hoe dynamisch is anycast routing? Hoe vaak moet een operator een catchment meting doen?
    - Dagelijks voor IPv6, wekelijks voor IPv4



(a) ICMPv4



(b) ICMPv6

Onderzoeks perspectief

- Wij gebruiken het metings tool voor onderzoek
  - Longitudinal catchment analysis
    - Hoe dynamisch is anycast routing? Hoe vaak moet een operator een catchment meting doen?
    - Dagelijks voor IPv6, wekelijks voor IPv4
  - Load-balancing vs. Anycast
    - Load-Balancing veroorzaakt dat een client wisselt tussen anycast locaties
    - Hoe vaak komt dit voor?
    - Wat voor effect heeft het op anycast routing stabiliteit?

Protocol	Responsive	Affected by LB	% affected by LB
ICMPv4	3,708,348	151,645	4.1%
TCPv4	1,287,110	57,707	4.5%
UDPv4	210,573	10,223	4.9%
IPv4 (total)	3,820,285	167,573	4.4%

TABLE II
THE NUMBER OF RESPONSIVE /24-PREFIXES, AND THOSE THAT EXPERIENCE LB WHEN VARYING THE IP HEADER, LISTED BY PROTOCOL.

Onderzoeks perspectief

- Wij gebruiken het metingstool voor onderzoek
  - Longitudinal catchment analysis
    - Hoe dynamisch is anycast routing? Hoe vaak moet een operator een catchment meting doen?
    - Dagelijks voor IPv6, wekelijks voor IPv4
  - Load-balancing vs. Anycast
    - Load-Balancing veroorzaakt dat een client wisselt tussen anycast locaties
    - Hoe vaak komt dit voor?
    - Wat voor effect heeft het op anycast routing stabiliteit?
  - Anycast meten met Anycast
    - Dagelijkse kaart van anycast infrastructuren op het internet (manycast.net)

Inhoud

1) Inleiding
   - Introductie
   - Internet routing en Anycast
   - Anycast meten
2) Metings tool
   - Technische details en metings proces
   - Features en analyse voorbeelden
   - Onderzoeksperspectief
3) **Conclusie en toekomst**

Conclusie

- Metingstool begonnen als een Master thesis
  - Ontworpen voor onderzoek (tot nu gebruikt voor 3 papers)
  - En papers van andere collega's

Conclusie

- Metingstool begonnen als een Master thesis
  - Ontworpen voor onderzoek (tot nu gebruikt voor 3 papers)
  - En papers van andere collega's
- Een verbeterde implementatie van Verfploeter
  - Met meerdere uitbreidingen
  - Voor anycast operators om hun infrastructuur te meten

Conclusie

- Metingstool begonnen als een Master thesis
  - Ontworpen voor onderzoek (tot nu gebruikt voor 3 papers)
  - En papers van andere collega's
- Een verbeterde implementatie van Verfploeter
  - Met meerdere uitbreidingen
  - Voor anycast operators om hun infrastructuur te meten
- Nu actief in gesprek met operators om de tool te gebruiken
- Binnenkort wordt de code openbaar gemaakt

Toekomst

- Tot nu toe meten wij anycast
  - Wij zien waar, en waarom, anycast slecht presteert
  - Volgende stap, automatisch oplossen met behulp van de tool

Toekomst

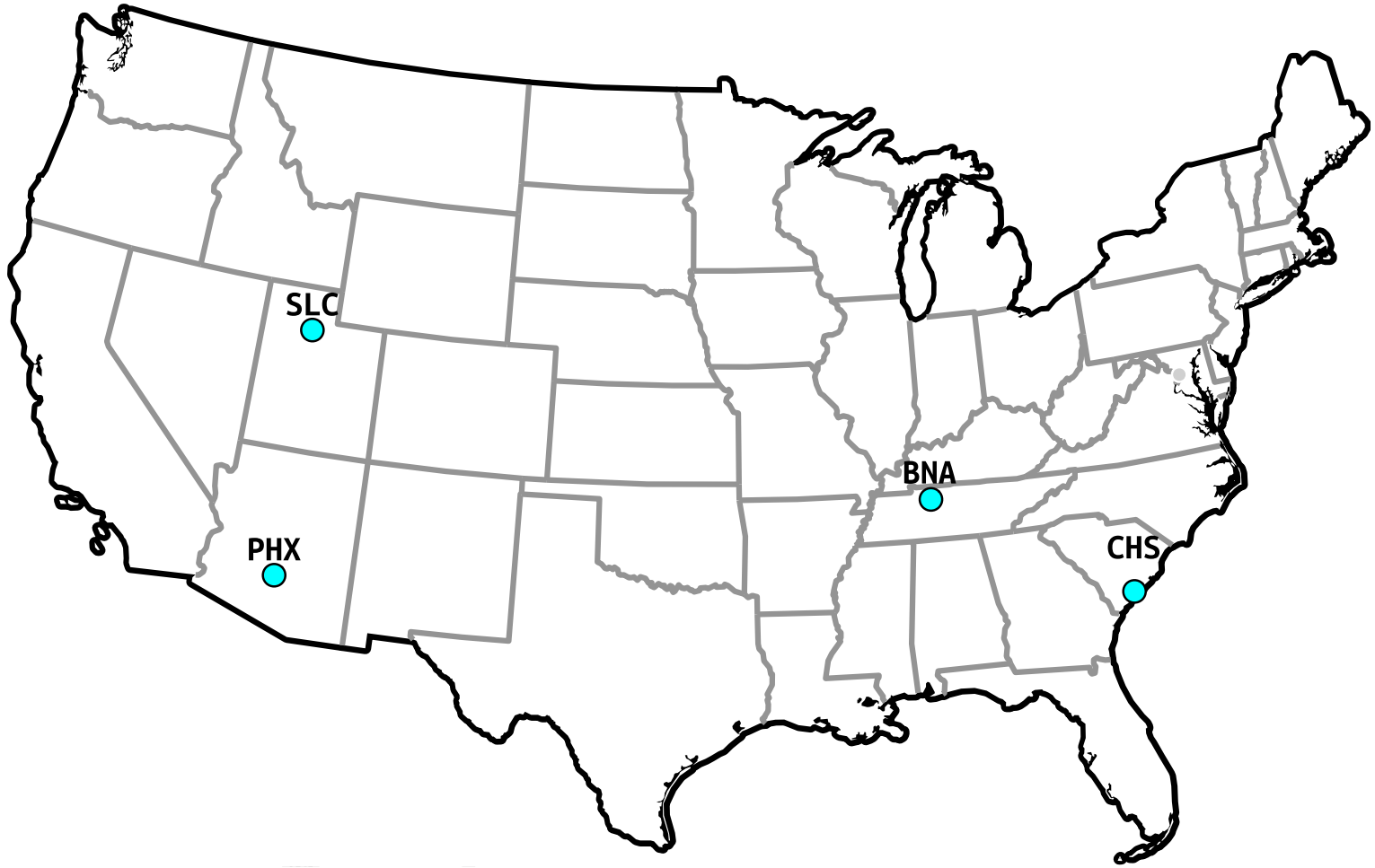
- Tot nu toe meten wij anycast
  - Wij zien waar, en waarom, anycast slecht presteert
  - Volgende stap, automatisch oplossen met behulp van de tool
- Verder ontwikkelen van de anycast tool
  - eBPF
  - Meer metingsopties (e.g., reverse traceroute)

Toekomst

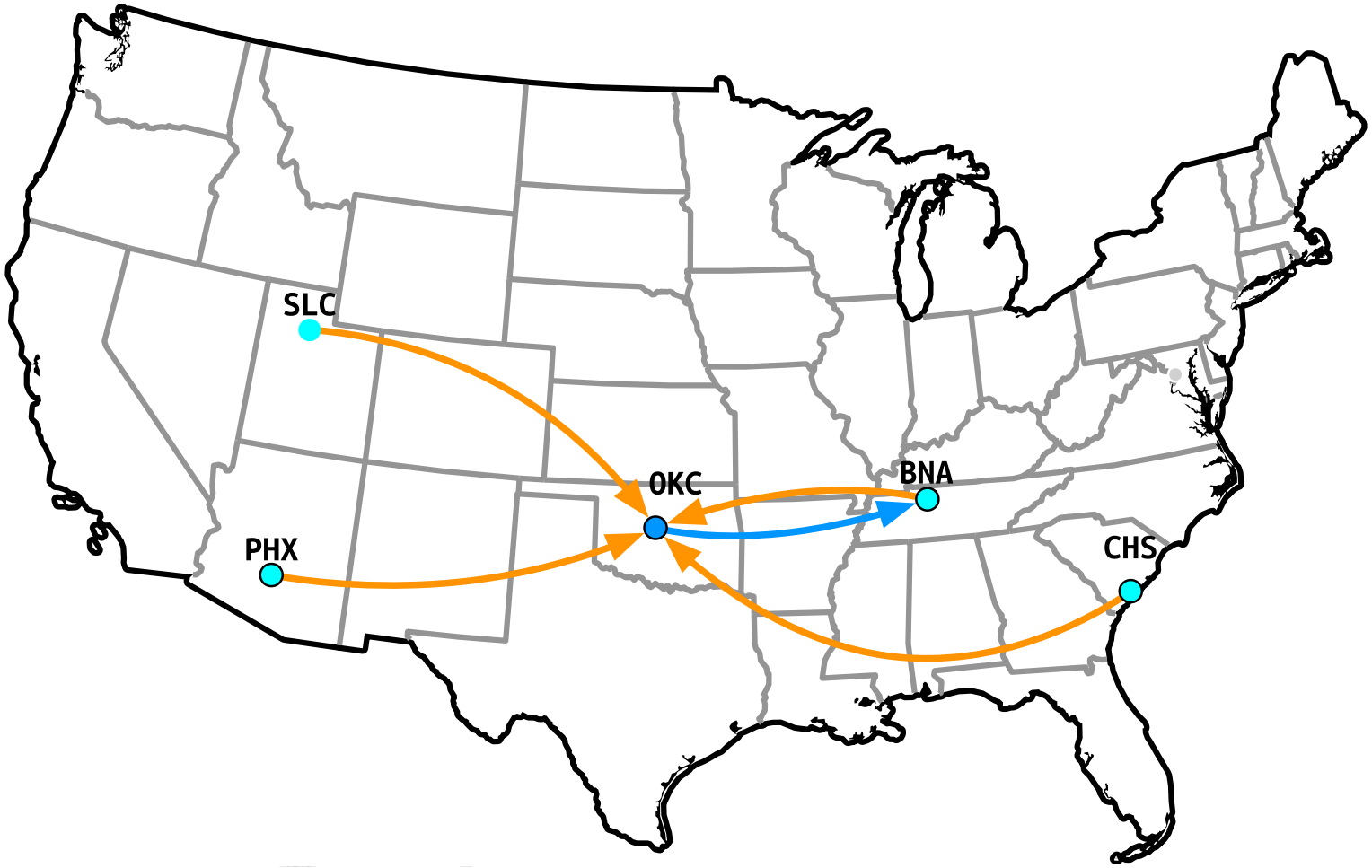
- Tot nu toe meten wij anycast
  - Wij zien waar, en waarom, anycast slecht presteert
  - Volgende stap, automatisch oplossen met behulp van de tool
- Verder ontwikkelen van de anycast tool
  - eBPF
  - Meer metingsopties (e.g., reverse traceroute)
- Samenwerken met anycast operators
  - Ons testbed uitbreiden
  - Tool delen met operators
  - Interesse van ccTLDs, CDNs, root DNS operators ...
- Gebruiksvriendelijke dashboard voor data analyse

Appendix slides

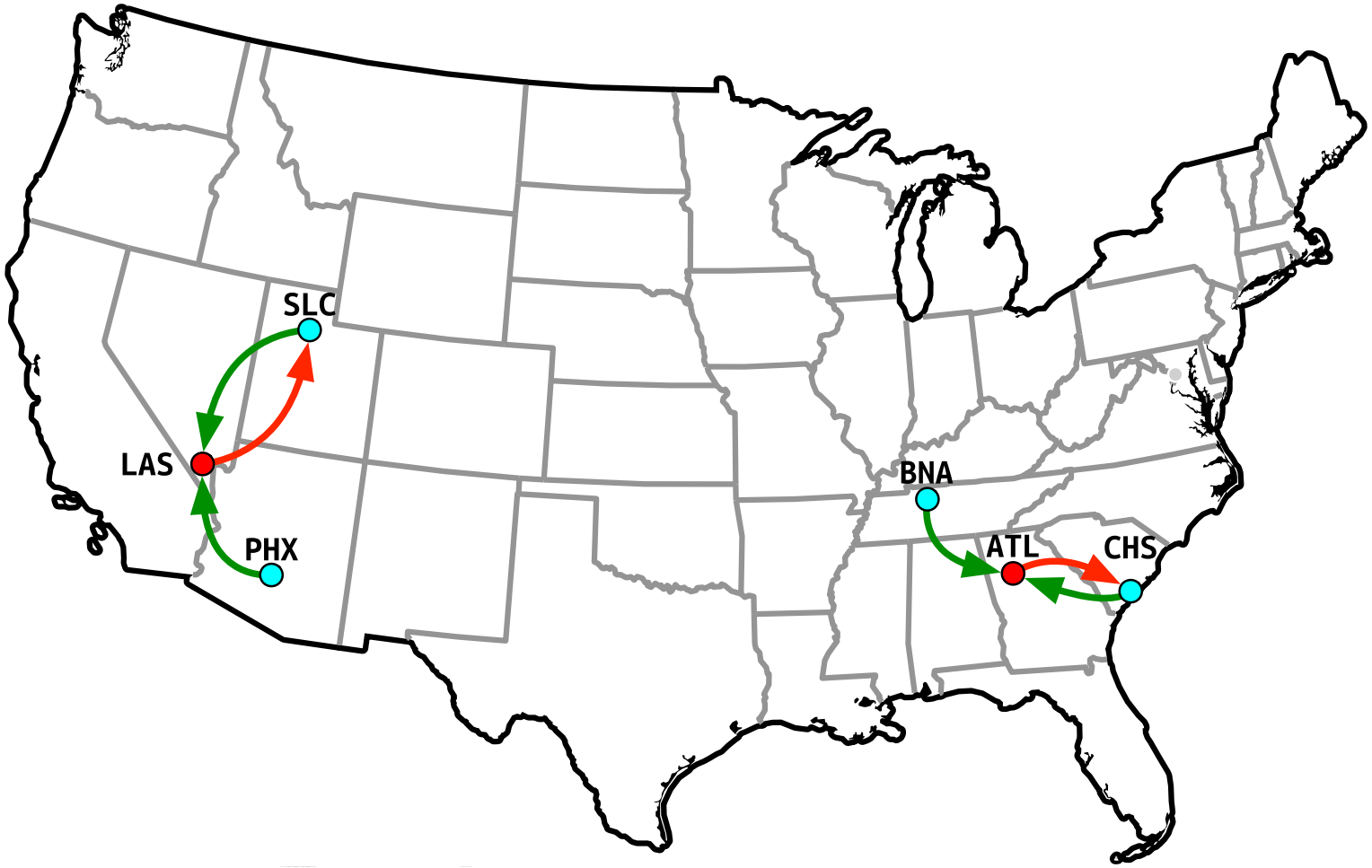
Anycast-based measurement Set-up



Anycast-based measurement
Unicast



Anycast-based measurement
Anycast



Latency-based measurement (GCD)

