

BGP 애니캐스트 튜너: 애니캐스트 서비스를 위한 직관적인 경로 관리

레안드로 M. 베르톨도*, 주앙 M. 세론†, 리산드로 Z. 그랜빌‡, 지오바네 CM 모우라†, 크리스티안 헤셀만‡*, 롤랜드 반 Rijswijk-Deij*§

*네덜란드 엔스헤데 트벤테 대학교

†lmberttholdo, rmvanrijswijk}@utwente.nl

‡SIDN 연구소, 아른헴, 네덜란드

§joao.ceron, giovane.moura, cristian.hesselman}@sidn.nl

¶브라질 포르투알레그레 리우그란지두술 연방대학교

granville@inf.ufrgs.br

§NLnet 연구소, 암스테르담, 네덜란드

추상적인—IP 애니캐스트는 DNS와 CDN 운영자 모두에게 중요한 기술이 되었습니다. 그러나 대규모 사업자는 애니캐스트 라우팅을 모니터링하고 구성할 수 있는 도구를 보유하고 있지만 대부분의 애니캐스트 네트워크는 여전히 수동으로 구성됩니다. 본 논문에서는 애니캐스트 관리에 대한 새로운 접근 방식을 소개합니다. 당사의 솔루션은 트래픽 엔지니어링과 결합된 활성 측정을 기반으로 합니다. 우리는 운영자가 서비스에 대한 라우팅 정책 변경의 영향을 예측할 수 있는 "BGP Cookbook" 개념을 제안합니다. 우리는 또한 다음과 같은 웹 기반 인터페이스를 소개합니다. "BGP 애니캐스트 튜너", 이를 통해 운영자는 서비스 성능에 대한 통찰력을 얻을 수 있으며 자동화를 통해 쉽게 관리할 수 있습니다. 우리는 5개 대륙에 걸쳐 12개의 애니캐스트 사이트로 구성된 테스트베드에서 실행되는 프로토타입을 구현하여 접근 방식을 평가합니다. 우리는 차선의 애니캐스트 라우팅 문제를 발견하고 해결하는 것과 서비스 중단 중에 유용한 대륙 간 트래픽 이동이라는 두 가지 사용 사례에서 도구를 시연합니다.

소규모 애니캐스트 운영자의 예로는 DNS cc-TLD(국가 코드 최상위 도메인)가 있는데, 이는 애니캐스트 접두어로 20개 미만의 사이트를 소유하는 경우가 많습니다. 소규모 애니캐스트 네트워크는 경로 변경을 수동으로 수행하여 유역을 조정합니다. 이로 인해 운영자가 최상의 구성을 탐색할 수 있는 능력이 제한됩니다. 더욱이, 이러한 수동 작업은 잠재적으로 심각한 결과를 초래할 수 있는 인적 오류가 발생하기 쉽습니다[17] [18] [19] [20].

운영자가 이 문제를 해결할 수 있도록 BGP A를 제시합니다. 뉴욕 캐스티우네르는 애니캐스트 사이트 구성, 유역 관리, 애니캐스트 관리 분석 및 시각화를 자동화하는 측정 기반 도구입니다. 직관적인 웹 기반 인터페이스를 통해 운영자는 라우팅 정책 변경의 예상 효과를 관찰하고 적절한 구성을 선택한 후 자동으로 배포할 수 있습니다.

나.나소개

IP 애니캐스트는 동일한 IP 주소가 여러 글로벌 위치에서 발표될 수 있도록 하는 기술입니다. 각 공지는 하나의 애니캐스트 사이트에서 생성되며 전체 솔루션은 도메인 간 라우팅을 사용하여 사이트 간 트래픽을 할당합니다[1][2]. IP Anycast는 콘텐츠 전달[3][4][5], DDoS(분산 서비스 거부) 완화[6]에 사용됩니다.

[7] [8] 및 DNS(Domain Name System) 인프라를 통해 [9] [10] [11]. 요즘에는 인터넷에서 사용되는 수백 개의 애니캐스트 접두사를 식별하는 것이 가능합니다[12].

애니캐스트 라우팅은 인터넷을 각 사이트가 일정 부분의 클라이언트를 끌어들이는 "집수처"로 나눕니다. 이를 위해 IP 애니캐스트는 인터넷의 기본 도메인 간 라우팅 프로토콜인 BGP를 사용합니다[13]. 그러나 이 분할은 완벽하지 않으며 클라이언트가 때때로 먼 사이트에 오게 됩니다[14][15]. 운영자가 유역을 매핑하는 데 도움을 주기 위해 VERPLOTTER[16]은 최첨단 도구이다. 하지만 단지 집수지를 매핑하는 것만으로는 충분하지 않습니다. 운영자는 성능 및 보안상의 이유로 각 사이트로 이동하는 클라이언트 수 또는 심지어 어떤 클라이언트를 제어하려고 합니다. 이는 애니캐스트 사이트에서 BGP 라우팅을 변경하여 수행할 수 있습니다.

대규모 애니캐스트 운영자는 더 많은 사이트를 추가하여 집수 통제를 처리하지만 대부분의 애니캐스트 운영자는 사용자를 더 잘 지원하기 위해 라우팅 조정을 수행해야 합니다. 하나

우리 작업의 주요 기여는 다음과 같습니다. *i)* 우리는 다양한 라우팅 조건에서 애니캐스트 서비스 클라이언트의 분포를 측정하기 위한 체계적인 접근 방식을 확립합니다. *ii)* 우리는 오픈 소스 도구인 BGP A를 발표하고 출시합니다. 뉴욕 캐스티우네르, 라우팅 C를 사용하여 애니캐스트 서비스를 관리하려면 알아야-책; 그리고 *iii)* 실제 애니캐스트 테스트베드에서 프로토타입을 평가합니다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 관련 작업은 II장에서 논의된다. 섹션 III에서는 애니캐스트 라우팅을 검토하고 애니캐스트 네트워크 관리에 필요한 요구 사항을 설정합니다. 섹션 IV에서는 BGP A 솔루션을 소개합니다. 뉴욕 캐스티우네르, 섹션 V에서는 실제 애니캐스트 테스트베드에서의 구현 및 평가에 대해 자세히 설명합니다. 마지막으로 섹션 VI에서 결론과 향후 연구를 도출한다.

II. 아르 자형의기 양양한여오크

Anycast는 1993년에 처음 제안된 이후 광범위하게 연구되어 왔습니다[1]. 초기 연구는 DNS에 대한 최초의 대규모 애니캐스트 적용[9][21][22]과 글로벌 애니캐스트 서비스 생성을 위한 아키텍처에 중점을 두었습니다[3][4]. 최근에는 애니캐스트(Anycast)가 보안 도구로 사용되었습니다[23][6] [24]. 헤셀만 외.[25] TLD의 보안과 안정성을 높이기 위해 DNS 최상위 도메인(TLD) 운영자에게 제어 평면을 제공하는 방법을 연구하고 Rizvi는 외.[8] 설명하다

DDoS 공격을 받을 때 애니캐스트 트래픽을 이동하기 위해 BGP를 사용하기 위한 "대응 플레이북"을 구축하는 방법입니다.

애니캐스트 라우팅 및 성능에 대해 Ballani는 *외*. 애니캐스트 성능 지표를 최초로 연구한 회사입니다[26]. 웨이 *외*. [27] 애니캐스트 라우팅은 일반적으로 안정적이지만 소수의 경로에서는 지속적인 불안정성을 나타냅니다. 드 브리스 *외*.

[28] V 개발ERFLOETER 애니캐스트 유역을 측정하고 나중에 이를 세계 최대 규모의 애니캐스트 CDN 중 하나에 배포했습니다[29]. 맥퀴스틴 *외*. [30] 애니캐스트 CDN에 대한 라우팅의 영향을 분석합니다. 최근에는 웨이 *외*. [31] 애니캐스트/유니캐스트 프로빙을 통해 지연 문제를 탐지하는 시스템을 제안했습니다.

아직 애니캐스트 네트워크에 대한 전문적인 관리는 없지만 Wiefferink[32]는 현재 도구가 애니캐스트 분석에 어떻게 도움이 될 수 있는지 평가한 반면 Costella는 *외*. [33] 애니캐스트 집수지를 시각화하는 솔루션을 구축했습니다.

III. 아르 자형요구사항

이 섹션에서는 애니캐스트 서비스 관리의 과제와 요구 사항에 대해 설명합니다. 그러나 먼저 제안된 솔루션을 이해하는 데 도움이 되는 기본 개념을 제시합니다.

애니캐스트를 사용하면 동일한 IP 주소를 사용하는 여러 서버에서 서비스가 호스팅됩니다. 그림 1은 세 개의 사이트(*외*스₁) 주소를 공유해 주세요10.0.0.1. 각 클라이언트(하단 부분)는 AS(클라우드) 상호 연결 관계(직선)에 따라 고유한 경로를 통해 서버 IP에 도달하려고 합니다. 내부적으로 BGP는 일련의 메트릭과 정책에 따라 각 대상에 대한 라우팅 경로를 선택하는 역할을 담당합니다. 각 AS의 색상은 해당 AS에 대한 선호도를 나타냅니다. 10.0.0.0/24 접두사.

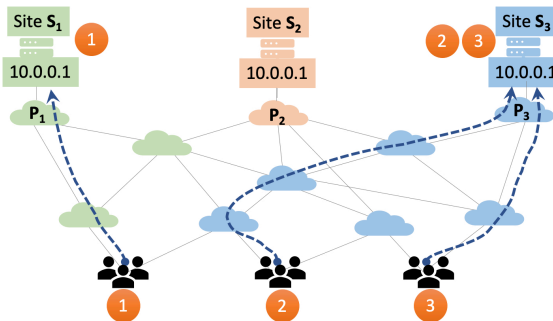


그림 1: 애니캐스트 집수 예시.

각 사이트에는 소위 *집수*, 이는 도달하는 클라이언트 세트입니다. 녹지유역(*외*스₁)는 클라이언트 1, 빨간색 사이트(*외*스₂)에는 클라이언트가 없으며 파란색 사이트(*외*스₃) 고객 2와 3을 유치합니다.

그림 1의 애니캐스트 네트워크를 관찰하는 운영자는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있습니다. *1)* 클라이언트 2는 레드 서버(*외*스₂) 파란색 것보다 (*외*스₃), 그리고 *(ii)* 레드 서버를 만들기 위해 (*외*스₂) 클라이언트 2를 유치하려면 라우팅을 재구성해야 합니다.

애니캐스트 서비스의 수용이 일부 클라이언트에게는 이상적이지 않은 경우가 많습니다[31]. 클라이언트 유역을 수정하려면 - 즉, 클라이언트가 다른 애니캐스트 서버에 있도록 하려면 BGP-TE(BGP Interdomain Traffic Engineering) [34]가 필요합니다. 그림 1은 단지 장난감 예일 뿐이지만, 수십 개가 있는 실제 애니캐스트 네트워크에 대해 이를 수행하려면,

심지어 수백 개의 사이트라도 관리 도구의 사용은 필수적입니다. 예를 들어 애니캐스트 운영자는 클라이언트가 애니캐스트 서비스 전체에 어떻게 분산되는지, 특정 클라이언트에 대한 최적의 집수지는 무엇인지, 트래픽 엔지니어링이 집수 분포에 어떻게 영향을 미치는지 알아야 합니다.

우리의 목표는 관리 도구를 도입하여 애니캐스트 서비스를 더 쉽게 운영하는 것입니다. 이 섹션의 나머지 부분에서는 이러한 관리 도구에 대한 요구 사항을 소개합니다. 표 1은 개요를 제공하며, 다음에서는 각 요구 사항을 자세히 설명합니다.

| 요구 사항 | Anycast 서비스 관리 도구. ... |
|-------|-------------------------------|
| R1 | 부지 집수지를 매핑해야 합니다. |
| R2 | 현장 집수를 통제해야 합니다. |
| R3 | 클라이언트 및 사이트에 대한 여러 측정항목 지원 |
| R4 | 트래픽 엔지니어링(TE) 옵션을 자동으로 검색합니다. |
| R5 | 빠른 원자 구성 배포 지원 |
| R6 | 간단하고 확장 가능한 관리 인터페이스 보유 |

표 1: 애니캐스트 트래픽 관리 요구 사항

R1: 집수지 매핑 —트래픽 분포를 이해하고 기준선과의 편차를 관찰하려면 각 애니캐스트 사이트의 유역을 매핑하는 것이 필수적입니다. 애니캐스트 유역은 수동적으로나 적극적으로 측정할 수 있습니다. 수동적 접근 방식은 애니캐스트 사이트로 들어오는 흐름을 분석하는 데 의존합니다. 그러면 능동적 접근 방식은 일반적으로 RIPE Atlas와 같은 애플리케이션 클라이언트를 사용하거나 [35] 인터넷을 조사하고 답변을 관찰하는 두 가지 접근 방식을 통해 VP(Vantage Point)에서 트래픽을 생성합니다[28].

R2: 유역 통제를 위한 교통 공학(TE) — 애니캐스트 운영자는 각 클라이언트가 사용하는 라우팅 경로를 제어할 수 없지만 BGP 속성을 사용하여 AS 수준의 라우팅 기본 설정에 영향을 줄 수 있습니다. 가장 일반적으로 사용되는 속성은 AS-Path 앞에 추가[36] 및 커뮤니티 문자열[37]입니다. 애니캐스트 관리 도구는 모든 애니캐스트 사이트에 대한 라우팅 정책의 순위순 조작을 지원하고 서비스에 대한 영향을 측정해야 합니다(R1).

R3: "플러그형" 지표 지원 —집수지 제어는 운영자의 공통 목표이지만, 그러한 제어를 수행하려는 동기는 다양합니다. 예를 들어, 측정하기 위해 자주 사용하는 측정항목은 다음과 같습니다. *사용자 경험*양복 시간과 같은 지연입니다 [38]. 그러나 다른 목표와 지표도 지원되어야 합니다. 예를 들어, 국가의 법률을 준수하기 위해 클라이언트가 어느 지역에 거주하는지 제어해야 하는 운영자를 생각해 보십시오. 이 경우 클라이언트 측정항목에는 다음이 포함되어야 합니다. *IP 지리적 위치*[15] [39]. 또 다른 예는 DDoS 공격을 처리하는 것이 목표인 경우입니다. 이 상황에서는 측정항목을 고려해야 합니다. *사이트 측정항목*, 인터페이스 손실률 및 CPU 부하 [6] [8].

R4: TE 옵션 자동 검색 —이전에 설명한 대로 애니캐스트 운영자는 개별 사이트 TE(교통 공학) 옵션을 사용하여 유역 분포를 수정할 수 있습니다. 이러한 옵션은 사이트 연결 방식과 관련이 있습니다(*외*피어 및 정책 수). 더 많은 사이트와 더 풍부한 연결성은 수십에서 수천 개의 정책을 제공합니다. 모든 옵션을 결합함으로써 운영자는 다음과 같은 복잡한 문제를 안게 됩니다.

해결: 어떤 BGP 정책을 사용해야 하며 해당 정책이 부지 영역에 어떤 영향을 미치나요? 이러한 복잡성을 처리하려면 사이트별로 사용 가능한 모든 BGP 정책을 측정하고 클라이언트 배포 측면에서 부작용을 매핑하는 자동화된 방법이 필요합니다.

R5: 빠른 원자 구성 배포 —각 사이트의 수동 라우팅 구성은 애니캐스트 네트워크에 맞게 확장되지 않습니다. DDoS 공격과 같은 문제가 발생하면 선택한 라우팅 구성을 배포할 때 신속하게 조치를 취해야 합니다. 따라서 애니캐스트 관리 시스템의 핵심 요구 사항은 애니캐스트 서비스를 함께 구성하는 모든 사이트에 새로운 라우팅 구성을 빠르고 원자적인 방식으로 배포해야 한다는 것입니다.

R6: 간단하고 확장 가능한 관리 인터페이스 —대부분의 애니캐스트 서비스는 규모가 몇 개에서 수십 개의 사이트까지 다양합니다. 따라서 관리 시스템에 대한 요구 사항은 해당 인터페이스가 이러한 규모의 차이를 수용할 수 있어야 한다는 것입니다. 또한 관리 인터페이스는 영역 분포를 시각화하고(운영자가 경로가 영역에 미치는 영향을 이해하는 데 도움이 됨) 특정 목표를 달성하기 위해 경로 정책을 변경하는 데 있어 운영자에게 직관적이어야 합니다(예를 들어, 특정 사이트에서 트래픽을 이동하고, 특정 클라이언트의 성능을 개선하고, 여유 용량이 있는 사이트의 우선 순위를 지정합니다).

IV. 접근

이 섹션에서는 애니캐스트 클라이언트 배포를 관리하는 접근 방식, 라우팅 정책을 테스트하는 방법, 이 프로세스를 최적화하고 이 정보를 운영자에게 제공하는 방법에 대해 설명합니다.

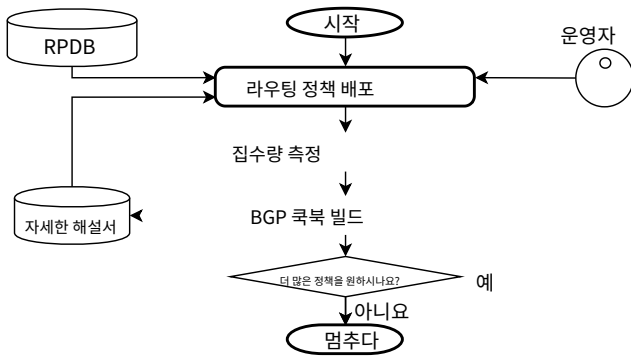


그림 2: 애니캐스트 클라이언트 배포에 대한 트래픽 엔지니어링의 영향을 매핑하는 데 사용되는 방법.

가. 개요

우리는 BGP 라우팅 정책에 따라 애니캐스트 사이트에 대한 클라이언트 배포 효과를 매핑하는 확장 가능한 방법론을 제안합니다. 그림 2는 우리 접근 방식의 개략적인 개요를 보여줍니다. 프로세스를 부트스트랩하려면 사이트별로 사용 가능한 모든 BGP 정책을 결정하는 것이 기본입니다. 이 정보센트야 에 ored BGP 라우팅 정책 데이터베이스이며 구성을 배포하는 데 사용됩니다. 과정 라우팅 정책 배포rou 적용을 담당합니다.사이트의 ting 구성 애니캐스트 서비스입니다. 다음으로 우리는수행하다집수지 면적 보증. 이 데이터의 데이터쉬르 항목은 사이트별 클라이언트 배포를 설명합니다.

배포된 각 BGP 정책에서. 우리는 이 분포를 C로 요약합니다.북북 이는 애니캐스트 서비스에 대한 특정 정책의 효과를 설명합니다. 마지막으로,운영자(오른쪽 상단)은 시스템이 평가할 정책을 선택하고 특정 운영 목표를 달성하기 위해 적절한 정책을 선택할 수 있습니다.

B. 라우팅 정책 데이터베이스(RPDB)

애니캐스트 서비스는 일반적으로 여러 사이트로 구성되며 각 사이트에는 라우팅에 영향을 주는 자체 외부 연결과 다양한 옵션이 있습니다. 우리는 이러한 가능한 모든 BGP 라우팅 시나리오를 라우팅 정책 데이터베이스라는 중앙 집중식 저장소에 매핑합니다. 이 데이터베이스는 다음을 반영합니다.BGP 피어링 계약각 사이트와 해당 업스트림 공급자 및/또는 IXP(Internet eXchange Point) 간에 설정됩니다.

표 II는 그림 1의 예제 네트워크에 있는 한 사이트의 개념을 보여줍니다. 이 표는 사이트에 적용할 수 있는 6가지 BGP 라우팅 정책을 보여줍니다.예스. 열 또래사이트의 BGP 인접 항목을 설명합니다. 즉, 라우팅 정책이 배포됩니다.점두사/와 함께 광고되는 라우팅 점두사를 설명합니다.라우팅 정책. 예를 들어 첫 번째 행(기준선), 라우팅 정책이 사용되지 않습니다. 2행부터 3행까지 AS-Path 앞에 추가가 사용되며 마지막 두 행에는 BGP 커뮤니티 문자열이 사용됩니다.피어 없음그리고 수출 금지[40]이 사용됩니다.

| 정책 ID | 대지 | 도래 | 접두사 | 라우팅 정책 |
|---------|----|----|-------------|------------------|
| 기준선 | 예스 | 피어 | 10.0.0.0/24 | - |
| 1x앞에 추가 | 예스 | 피어 | 10.0.0.0/24 | 치럼N |
| 2x앞에 추가 | 예스 | 피어 | 10.0.0.0/24 | 치럼N치럼N |
| 3x앞에 추가 | 예스 | 피어 | 10.0.0.0/24 | 치럼N치럼N치럼N |
| 피어 없음 | 예스 | 피어 | 10.0.0.0/24 | 커뮤니티 65535:65284 |
| 수출 금지 | 예스 | 피어 | 10.0.0.0/24 | 커뮤니티 65535:65281 |

표 II: 그림 1의 RPDB 예

운영자는 RPDB에 어떤 정책을 추가할지 결정해야 합니다. 더 많은 조합은 더 많은 TE 옵션과 더 세분화된 트래픽 제어를 의미합니다. 그러나 조합이 너무 많으면 영향이 적은 Anycast-TE 옵션에 시간이 소요될 수 있습니다. 운영자는 정책 조합과 C에 저장할 유용한 결과 사이의 균형을 확립할 책임이 있습니다.북북.

C. 라우팅 정책 배포

RPDB를 배치한 후 다음 단계는 하나의 라우팅 정책(표 II의 한 행)을 배포하는 것입니다. 정책을 배포하는 동안 BGP 수렴 시간 및 경로 플래핑과 같은 도메인 간 라우팅에 대한 모범 사례를 관찰하는 것이 중요합니다[41].

D. 영역 측정

이 시점에서 애니캐스트 사이트는 선택된 BGP 정책으로 구성됩니다. 다음으로 클라이언트 배포판을 매핑해야 합니다. 티 배포된 구성의 영향을 받는 이온 및 기타 측정항목입니다. 고려해야 할 다른 측정항목은 운영자의 목표에 따라 다르지만 여기에는 클라이언트의 지리적 위치나 각 사이트의 트래픽 부하 등이 포함될 수 있습니다. 우리의 접근 방식에서는 De Vries의 방법론을 선택합니다.외.[28] 이는 활성 측정이고 적용 범위가 더 넓으며 사용 가능한 다른 옵션보다 더 공정한 관점을 제공하기 때문입니다.

E. BGP씨북북

각 라우팅 정책을 배포하고 그 영향을 측정한 후 BGP C라는 데이터베이스에 결과를 저장합니다.북북. 이 이름은 각 라우팅 정책을 다양한 트래픽 엔지니어링 방법을 구축하는 데 사용되는 요소로 간주한다는 아이디어에서 유래되었습니다. RPDB에는 사용 가능한 모든 라우팅 정책을 저장하지만 C에는북북우리는 결과가 운영자의 눈에 관련이 있거나(수동) 이전에 저장된 레시피(자동)와 비교한 백분율 이득(트래픽 이동 측면에서)과 같이 운영자가 설정한 매개변수를 따르는 결과를 저장합니다.

표 III은 가능한 C를 보여줍니다.북북그림 1의 예를 들어 보겠습니다. 운영자가 클라이언트를 사이트 전체에 균등하게 배포하기를 원한다고 가정해 보겠습니다. 그림 1에 표시된 기본 상황에서 다음을 기억하는 것이 중요합니다. *예스*수 명의 고객을 유치하는 동안 *예스*하나도 끌리지 않습니다.

| 정책 ID | 라우팅 정책 | | | 미터법 <i>Qt</i> 집수/ | | |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | <i>예스</i> <i>피어</i> | <i>예스</i> <i>피어</i> | <i>예스</i> <i>피어</i> | <i>예스</i> <i>피어</i> | <i>예스</i> <i>피어</i> | <i>예스</i> <i>피어</i> |
| 기준선 | - | - | - | 1 | 0 | 2 |
| 1x <i>예스</i> | - | - | 1x준비 | 1 | 2 | 0 |
| 피어 없음 <i>예스</i> | - | - | 피어 없음 | 1 | 1 | 1 |
| - 3배 <i>예스</i> | 3x준비 | - | 3x준비 | 0 | 삼 | 0 |

표 III: C의 예북북그림 1의 경우

이 C에서는북북, 우리는 정상 상태(기준)와 세 가지 뚜렷한 애니캐스트-TE 전략을 찾습니다.1x*예스*, 하나가 앞에 추가된다고 말함 *예스* *피어*클라이언트가 발생합니다 *예스*그리고 *예스*블루 사이트에서 레드 사이트로 이동합니다.피어 없음*예스*, 측정항목 예측 *Qt* *집수*noPeer(BGP 커뮤니티)라는 정책을 배포하면 균등화됩니다. 피어 없음현장에서 *예스*; 그리고 - 3배*예스*, 모든 클라이언트를 연결하는 복합 정책으로 역방향 추가 또는 부정 추가를 나타냅니다. *예스*다음을 제외한 모든 사이트에 사전 추가를 통해 *예스*. 알 수 있듯이,피어 없음*예스*운영자의 목표에 부합하는 정책입니다.

F. 프로세스 최적화 및 제한 사항

지금까지 설명한 프로세스는 유용한 C알았어-책관련 라우팅 구성에는 확장성과 관련하여 두 가지 중요한 문제가 있습니다. *(i)* 각 애니캐스트-TE 레시피에 대한 메트릭을 배포하고 수집하는 데 필요한 시간 그리고 *(ii)* 애니캐스트 사이트 수의 증가로 인한 조합 폭발.

프로토타입(섹션 V)에서는 하루에 약 60개의 개별 라우팅 정책을 확인할 수 있습니다. C 전체를 빌드하면알았어-책그림 1-3 애니캐스트 사이트와 5개 정책의 예에서는 6시간 이상을 소비하게 됩니다(삼 x 5 x 25분). 그러나 다음과 같이 가능한 모든 정책 조합을 테스트하면3배*예스*표 III에서는 약 52시간을 소비합니다. (5삼 x 25분). 우리의 장난감 시나리오를 10개의 사이트와 사이트당 7개의 정책으로 확장한다면 순진한 테스트에는 수천 년이 걸릴 것입니다.

그러나 가능한 모든 조합을 테스트하는 대신 탐색 및 테스트 접근 방식을 선택하여 테스트 수를 크게 줄일 수 있습니다. 다음 접근 방식 중 하나를 고려하여 정책 선택을 최적화할 수 있습니다.

- 고객 콘:각 AS[42]의 고객 수를 기준으로 개인별 비용을 거의 99% 줄일 수 있었습니다.

IXP에 대한 피어 테스트. 우리는 AS-Rank[43]에서 제공하는 큰 원뿔 크기를 가진 AS에만 정책을 적용하기로 선택했습니다.

- 회소 테스트:각 테스트 클래스에 대해 모든 조합을 더 작은 청크로 나눌 수 있으며 먼저 각 청크에서 최상의 경우와 최악의 경우를 시도합니다. 결과가 좋지 않으면 중단합니다(*예를 들어*, 우리는 3개의 앞에 추가를 시도하고 1개 또는 2개의 앞에 추가를 시도하기 전에 사이트 기준과 비교합니다. 개별 라우팅 정책에 대한 테스트를 83% 줄일 수 있었습니다).
- 대표성:우리는 사이트 집수량의 1% 미만을 차지하는 동료에 대해서는 정책을 시도하지 않습니다.
- 인간 참여형(Human-in-the-Loop) 요소:운영자는 더 많은 정책 테스트를 중단하기에 충분한 시기가 언제인지 가장 잘 알고 있습니다.

비록 영향은 낮지만 유역 측정과 같은 프로세스에서 시간이 많이 소요되는 다른 부분을 최적화할 여지도 있습니다. 우리가 선택한 측정 시스템은 히트 목록을 사용하여 인터넷에서 라우팅 가능한 각 /24 접두사에서 최소 하나의 주소를 조사합니다. 다음 두 가지 방법으로 목록을 줄여 시간을 줄일 수 있습니다.

- 방문 목록 축소:접두사당 단일 주소만 검색합니다. 전체 라우팅 테이블의 대부분의 접두사는 /24(*예를 들어*, 크기 /16), 적중 목록을 87% 줄였습니다.
- 방문 목록 흐리게 표시:AS당 단일 주소를 조사합니다. 이로 인해 모든 접두사에 대해 동일한 라우팅 정책이 없을 수 있는 가장 큰 AS에 대한 가시성이 감소하는 반면, 더 작은 AS에 대한 보기는 여전히 정확하며 측정 횟수가 98%까지 크게 감소했습니다.

G. BGP 애니캐스트 튜너 인터페이스

C에 요약된 BGP 정책 및 측정항목알았어-

책운영자가 특정 목표를 달성하기 위해 최상의 라우팅 정책을 선택하도록 돕는 것을 목표로 합니다. 그러나 수백 개의 정책을 사용할 수 있는 경우 최상의 솔루션을 선택하는 것은 복잡한 작업이 될 수 있습니다.

우리의 접근 방식을 면밀히 조사해 보면 우리가 C 언어에 저장한 결과를 알 수 있습니다.북북주로 사이트로 더 많은 트래픽을 유도하거나 줄이는 것이 중요합니다. 또한 애니캐스트가 "폐쇄형 시스템"이라는 점을 고려하면, 즉, 한 사이트에서 더 많은 트래픽이 유입되면 다른 사이트에서는 해당 트래픽이 손실됩니다. 이를 염두에 두고 각 개별 사이트에는 긍정적(더 많은 트래픽 유치) 값과 부정적(트래픽 감소) 값 사이의 가능성 범위 내에서 제한된 수의 옵션이 있고 한 사이트가 변경되면 다른 모든 사이트가 변경된다고 생각할 수 있습니다. 사이트도 변경되어 차이가 보상됩니다. 이 개념은 구식 "사운드 튜너"를 연상시키며, 이를 그래픽 사용자 인터페이스에 대한 비유로 선택하게 되었습니다.

BGP A뉴욕캐스트티우네르방법론의 모든 부분을 통합하는 프로토타입 그래픽 인터페이스입니다. 이는 운영자에게 간단하고 직관적인 인터페이스를 제공하고 BGP C에서 미리 결정된 다양한 BGP 구성에 대해 애니캐스트 사이트를 통한 클라이언트 배포를 제공합니다.알았어-

책. 그림 3은 BGP A를 나타냅니다.뉴욕캐스트티우네르그래픽 사용자 인터페이스. 그림은 히스토그램(파란색)과 히스토그램 아래의 슬라이더를 사용하여 각 사이트의 클라이언트 분포를 보여줍니다. 이 슬라이더를 사용하면 운영자는 슬라이더의 "노치"로 표시된 미리 결정된 설정 세트를 사용하여 현장 집수를 늘리거나 줄일 수 있습니다. 이러한 노치는 특정 BGP 정책에 해당하며, 유역에 미치는 영향은 다음과 같습니다.

우리는 이전에 측정을 사용하여 결정했습니다. 예시에서도 볼 수 있듯이 이러한 노치는 슬라이더 전체에 고르게 분포되어 있지 않습니다. 이는 클라이언트를 다른 애니캐스트 사이트로 전환하는 사이트의 유연성이 다양하다는 사실을 반영합니다. 즉, 일부 BGP 정책이 다른 정책보다 유역에 더 큰 변화를 가져온다는 사실을 반영합니다. 또한 일부 사이트는 BGP 인접 항목 및 트래픽 계약과의 관계로 인해 더 높은 수준의 제어 권한을 갖습니다. 또한 사이트의 슬라이더가 링크되어 있음을 확인하세요. 즉, 한 지점의 슬라이더가 이동하면 다른 모든 슬라이더도 함께 이동하여 한 지점의 유역 변경이 자동으로 다른 모든 지점의 유역도 변경된다는 사실을 반영합니다.

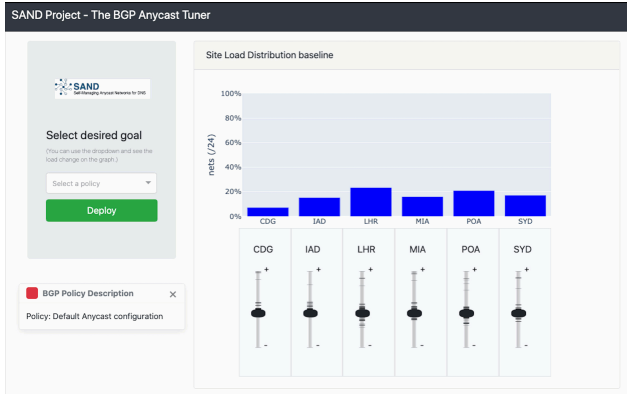


그림 3: BGP Anycast Tuner 사용자 인터페이스.

브이피프로토타입 및이자형평가

이 섹션에서는 앞서 표 I에서 논의한 요구 사항에 대한 접근 방식을 평가합니다. 이 평가를 위해 우리는 접근 방식의 프로토타입을 만들고 이를 애니캐스트 테스트베드 인프라에서 구현했습니다. 다음 하위 섹션에서는 테스트베드와 트래픽 엔지니어링 측면에서 얻은 결과를 설명하고 프로토타입이 두 가지 시나리오에서 어떻게 작동하는지 보여줍니다. 프로토타입 코드는 저장소에서 찾을 수 있습니다.¹

A. 프로토타입 환경 및 구현

애니캐스트 테스트베드 T 위에 프로토타입을 제작했습니다.각진 [44]. 이 테스트베드는 전 세계 12개 애니캐스트 사이트로 구성되어 있습니다. IXP, 클라우드 제공업체, 상업 교통 제공업체 및 학술 네트워크에 연결되어 있어 매우 다양한 동료를 보유하고 있습니다. 광범위한 라우팅 계약을 지원하는 산업 환경과 유사하게 이는 우리의 접근 방식에 대한 도전적인 테스트 기반이 됩니다.

비록 프로토타입이 T에서 구현되었지만각진애니캐스트 테스트베드에서는 구현 방법이 특정 토폴로지, 사이트 또는 네트워크 리소스에 얽매이지 않습니다. 또한 우리의 평가 목표는 테스트베드에 특정한 결과를 정량화하거나 측정하는 것이 아니라 우리의 접근 방식이 작동하고 요구 사항을 충족하는지 검증하는 것입니다. 따라서 우리는 평가 프로세스에서 라우팅 정책 선택을 제한하여 정책 조합을 피하고 동일한 BGP 공지를 각 사이트의 모든 피어에게 보냅니다.

¹<https://github.com/SIDN/BGP-Anycast-Tuner>

우리의 프로토타입은 네 부분으로 구성됩니다: (i) 애니캐스트 서비스의 모든 사이트에 선택된 라우팅 정책을 배포하는 데 사용되는 ExaBGP 기반의 라우팅 정책 배포 도구, (ii) C에서 선택한 레시피를 배포하는 애니캐스트-TE 오케스트레이션 도구북북모든 현장에서 V로 유역 측정을 조정합니다.ERFLOETER, (iii) 결과 지표를 C에 유지하는 유역 측정 데이터에 대한 통계 분석 도구북북, 그리고 마지막으로 (iv) 운영자를 위한 두 개의 대시보드, 하나는 유역 데이터를 시각화하기 위한 것이고 다른 하나는 부하 조정을 위한 것입니다(후자는 우리 접근 방식의 핵심을 형성하고 모든 구성 요소를 통합합니다).

배포 프로세스의 일부로 BGP가 10분 동안 안정화될 때까지 기다립니다. 이 시간은 문헌[45][46][47]에서 필요한 라우팅 및 포워딩 수렴 시간으로 제시됩니다.

B. Tangled 요리책

평가의 첫 번째 단계로 C를 구축합니다.북북 T를 위해각진테스트베드. 평가를 더 쉽게 설명하기 위해 6개의 애니캐스트 사이트와 사이트당 13개의 개별 라우팅 정책의 하위 집합만 표시합니다(전체 요리책에는 78개의 정책이 있습니다). 표 IV의 모든 줄은 테스트베드의 측정값과 각 BGP 정책에 대해 각 사이트에서 처리하는 /24 네트워크의 해당 비율을 나타냅니다. 서비스 기준(정기 BGP 발표)으로 행을 강조 표시합니다. 또한 사이트 LHR을 강조 표시하고 테이블을 최대 로드(64.58%)에서 최소 로드(0%)까지 내림차순으로 정렬합니다.

기준선을 관찰하면 클라이언트의 7.22%가 파리(CDG)에 위치한 사이트를 방문했다는 것을 알 수 있습니다. 15.28%는 워싱턴 DC(IAD)로 이동했습니다. 23.38%는 런던(LHR)으로 이동했습니다. 15.97% 마이애미(MIA); 20.98%는 포르투알레그레(POA)로, 17.16%는 시드니(SYD)로 갔습니다. Anycast-TE 열에서는 니모닉(예를 들어, $-2xLHR$) 사이트 LHR에 대한 두 개의 부정적인 앞에 추가를 설명합니다(음수 표기법은 LHR을 제외한 모든 사이트에 두 개의 앞에 추가되는 것을 의미합니다). 니모닉의 다른 예는 다음과 같습니다. $1xLHR$ 런던 사이트에 대한 단일 접두어를 설명합니다. $LHRnoPeer$ 그리고 $LHRnoExp$ BGP 커뮤니티를 표현하기 위해피어 없음그리고수출 금지런던에서 사용되었습니다.

표 IV의 측정 데이터는 각 BGP 구성에 대해 각 사이트의 클라이언트 수를 예측합니다. 운영자는 이 표를 사용하여 사이트의 원하는 로드에서 애니캐스트 서비스를 구성할 수 있습니다. 우리가 했던 것처럼 LHR 로드별로 항목을 정렬하는 것은 LHR로 가져오거나 LHR에서 제거하려는 트래픽의 양을 선택하는 운영자 전략을 반영합니다. 그러나 사이트가 많은 애니캐스트 서비스에서는 이 프로세스가 혼란스럽고 오류가 발생하기 쉽습니다. 이 문제를 해결하기 위해 우리는 BGP A를 도입했습니다. 뉴욕캐스트티우네르이 프로세스를 자동화하고 직관적인 방식으로 시각화합니다. 효과적으로, 표의 순서는 BGP A의 LHR 슬라이더가 어떻게 작동하는지를 보여줍니다.뉴욕캐스트

티우네르그림 3에 표시된 인터페이스가 채워집니다.

다음 하위 섹션에서는 T에 우리의 접근 방식을 적용한 두 가지 시나리오를 제시합니다.각진테스트베드.

C. 시나리오 1: 유역 시각화 및 문제 해결

이 시나리오는 프로토타입이 R1, R2, R3, R4 및 R6 요구 사항을 어떻게 충족하는지 보여줍니다. 이 시나리오는 운영자가 최적인 라우팅 사례를 감지하고 복구할 수 있는 방법을 보여줍니다.

| 애니캐스트-TE | CDG | IAD | LHR | 실종자 | POA | SYD |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| - 2xLHR | 2.04 | 15.17 | 64.58 | 8.89 | 8.05 | 1.26 |
| - 1xLHR | 2.42 | 15.03 | 54.09 | 12.39 | 14.55 | 1.50 |
| 2xMIA | 7.68 | 16.15 | 30.33 | 2.35 | 20.39 | 23.09 |
| 2xIAD | 7.03 | 14.62 | 25.02 | 16.19 | 19.73 | 17.41 |
| 기준선 | 7.22 | 15.28 | 23.38 | 15.97 | 20.98 | 17.16 |
| - 1xIAD | 4.15 | 47.38 | 14.89 | 9.33 | 6.78 | 17.46 |
| - 3xSYD | 1.47 | 15.70 | 10.61 | 4.10 | 9.41 | 58.71 |
| - 3xCDG | 55.49 | 15.04 | 8.86 | 9.12 | 10.17 | 1.31 |
| 1xLHR | 15.14 | 17.18 | 7.94 | 17.45 | 22.63 | 19.65 |
| LHRnoPeer | 15.84 | 20.19 | 3.03 | 17.79 | 23.69 | 19.47 |
| 3xLHR | 15.92 | 21.08 | 1.97 | 17.81 | 23.62 | 19.60 |
| - 5xIAD | 0.77 | 88.11 | 1.68 | 3.09 | 2.19 | 4.16 |
| LHRnoExp | 16.78 | 21.82 | 0.00 | 17.75 | 24.23 | 19.42 |

표 4: C북북T를 위해각진테스트베드.

운영자를 위한 집수 정보를 더 잘 시각화하기 위해 우리는 대화형 웹 인터페이스를 개발했습니다(그림 4). 이 인터페이스를 통해 운영자는 특정 국가나 AS에 서비스를 제공하는 애니캐스트 사이트를 식별하는 등 사이트 집수를 조사하고 클라이언트 배포 이상을 감지할 수 있습니다.

이 경우 그림 4는 미국 클라이언트가 선호하는 애니캐스트 사이트를 보여줍니다(R1) 기준 상황에서(그림 3). 우리는 각 사이트에 접속하는 소스 IP 주소의 지리적 위치를 기반으로 미국 클라이언트를 선택합니다(R3). 가장 왼쪽(녹색) 상자에는 모든 T가 표시됩니다.각진사이트와 미국이 집수원으로 선택되었습니다. 중간 상자(파란색)는 미국 고객의 40.28%가 US-MIA 사이트를 선호하고, 33.11% BR-POA, 16.02% US-IAD, 8.60% UK-LHR, 1.98%가 다른 사이트에 분포되어 있음을 보여줍니다. 이 시점에서 운영자는 왜 그렇게 많은 미국 클라이언트가 브라질 사이트로 라우팅되는지 궁금해할 수 있습니다. 그런 다음 운영자는 중간 상자에서 BR-POA를 선택합니다. 그러면 가장 오른쪽 상자(빨간색)에 자율 시스템 목록이 표시됩니다. 가장 오른쪽 상자에는 BR-POA를 공격하는 미국의 상위 5개 AS가 표시되며, 그 중 38.3%는 AS7922(Comcast), 9.49%는 AS20115, 5.81%는 AS10796, 5.34%는 AS20001, 4.54%는 AS11427(마지막 4개의 AS는 모두 Charter Communications에 속합니다).

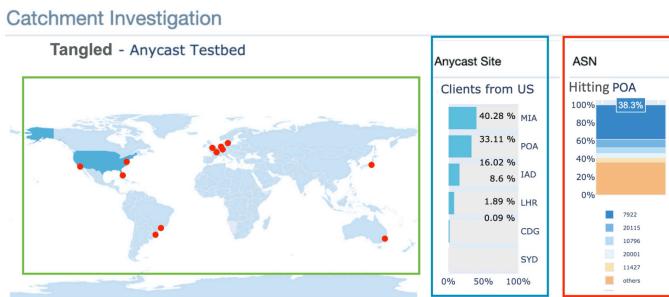


그림 4: 유역 검사 및 시각화를 위한 대시보드.

그런 다음 운영자는 이 문제를 해결하고 브라질의 사이트에 도달하는 미국 트래픽을 미국으로 다시 가져올 수 있습니다. BGP A를 사용하여뉴욕캐스트티우네르, 운영자는 BGP A의 직관적인 인터페이스 없이 지루하고 시간이 많이 걸리는 수동 프로세스인 다양한 라우팅 정책을 실험할 수 있습니다.뉴욕캐스트티우네르그림 3(R2, R6).

잘못 라우팅되는 클라이언트의 마지막 부분을 최적화하려면 추가 정책 개선이 필요할 수 있지만 이 시나리오는

BGP A가 어떻게 작동하는지 보여줍니다.뉴욕캐스트티우네르운영자가 애니캐스트 성능 문제를 더 쉽게 해결할 수 있습니다.

D. 시나리오 2: 교통량 이동

이 시나리오에서는 재작업을 수행하는 방법을 보여줍니다. 요구 사항 R2, R4, R5, 그리고 R6, 운영자가 가능한 한 많은 트래픽을 특정 위치로 이동할 수 있는 방법을 보여줍니다.

여기에서는 특정 작업을 배포하기 위해 일련의 정책을 매핑했습니다. 이 매핑을 사용하면 운영자는 그림 3에서 슬라이더 하나만 이동하여 트래픽을 이동할 수 있습니다. 예를 들어, 파리에 대한 슬라이더의 경우(CDG)가 위로 이동하면 최대한 많은 트래픽이 이 사이트로 유입됩니다. 다른 사이트의 슬라이더도 변경되고 히스토그램은 이제 대부분의 고객이 파리에 있는 사이트 집수지로 이동할 것임을 보여줍니다. 이렇게 하면 매핑에 대한 요구 사항을 충족합니다(R1), 제어(R2) 및 사용하기 쉬운 인터페이스(R6).

프로토타입 인터페이스는 그림 3의 인터페이스 왼쪽에 드롭다운 메뉴도 제공합니다. 이 드롭다운 메뉴를 통해 운영자는 목표를 선택할 수 있습니다. 예를 들어, "유럽으로 트래픽을 가져옵니다". 이러한 목표는 미리 설정된 슬라이더 위치에 해당하므로 제시된 항목 중 BGP 정책의 미리 설정된 조합에 해당합니다. 이 기능을 사용하면 빠른 트래픽 엔지니어링 배포가 가능해집니다(R5).

6. 씨결론

애니캐스트의 사용은 점점 일반화되고 중요해지고 있습니다. 매년 더 많은 서비스 제공업체가 서비스의 견고성과 사용자 경험 품질을 향상시키기 위해 이를 사용하고 있습니다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 접근 방식을 소개했습니다. 우리의 접근 방식에서는 각 사이트에서 사용 가능한 모든 라우팅 정책을 애니캐스트 서비스에 등록합니다. 그런 다음 각 경로 정책에 대한 부지 집수지를 측정하고 매핑합니다. 이 매핑을 통해 애니캐스트 사이트에 구현될 가장 최적의 트래픽 엔지니어링 시나리오를 예측할 수 있습니다.

그런 다음 운영자가 실시간으로 애니캐스트 네트워크 집수를 모니터링하고 관리할 수 있도록 지원하는 도구 세트의 프로토타입을 제작했습니다. 우리 접근 방식의 핵심은 BGP A라고 부르는 직관적인 웹 인터페이스입니다.뉴욕캐스트티우네르. 이 인터페이스는 운영자의 애니캐스트 서비스 관리 부담을 덜어줍니다. 우리는 5개 대륙 12개 사이트에 걸쳐 글로벌 애니캐스트 테스트베드에서 프로토타입을 테스트하고 선보였습니다. 두 가지 사례 연구에서 BGP A가 어떻게 작동하는지 보여줍니다.뉴욕캐스트티우네르최적이지 아닌 트래픽 라우팅(원격 사이트로)을 식별하고 마우스 클릭 한 번으로 라이브 애니캐스트 서비스의 트래픽을 원하는 위치로 이동하는 방법을 식별하는 데 사용할 수 있습니다.

우리는 공개 저장소의 오픈 소스 라이선스에 따라 모든 도구를 게시합니다.1. 다음 단계로 우리는 의 운영자인 SIDN의 운영팀과 협력하고 있습니다.NLccTLD는 프로덕션 애니캐스트 서비스에 우리의 접근 방식을 배포합니다.

VII. 감사의 말

이 작업은 네덜란드 과학 연구 기구 NWO(628.001.029) 및 CONCORDIA(830927)의 자금 지원을 받습니다. 이 작업은 DNS(SAND)용 자체 관리 Anycast 네트워크 프로젝트를 통해 SIDN Labs 및 NLnet Labs에서도 지원되었습니다. 또한 프로젝트 동안 귀중한 피드백을 주신 John Heidemann에게도 감사드립니다.

- [1] C. Partridge, T. Mendez 및 W. Milliken, "호스트 애니캐스팅 서비스", 인터넷 의견 요청, RFC 편집자, Tech. 의원 1546, 1993.
- [2] D. McPherson, D. Oran, D. Thaler 및 E. Osterweil, "IP Anycast의 아키텍처 고려 사항", IETF, RFC 7094, 2014년 1월.
- [3] H. Ballani 및 P. Francis, "글로벌 IP 애니캐스트 서비스를 향하여", *컴퓨터 통신 복습*, 권. 35, 2005, 회의록, pp. 301-312.
- [4] MJ Freedman, K. Lakshminarayanan 및 D. Mazières, "OASIS: 모든 서비스를 위한 Anycast" *NSDI*, 권. 2006년 6월 6일, 회의 진행.
- [5] P. Gilmore, "Akamai 블로그", <https://blogs.akamai.com/2013/04/serving-at-the-edge-good-for-performance-good-for-mitigating-ddos-partii.html>, 2013년 4월.
- [6] GCM Moura, R. de O. Schmidt, J. Heidemann, WB de Vries, M. Müller, L. Wei, C. Hesselman, "Anycast 대 DDoS: 2015년 11월 루트 DNS 이벤트 평가", *ACM 인터넷 측정 컨퍼런스 진행*, 2016년 11월.
- [7] J. Nazario, "DDoS 공격 진화" *네트워크 보안*, 권. 2008년, 아니. 7, 2008년 7~10페이지.
- [8] A. Rizvi, J. Ceron, L. Bertholdo 및 J. Heidemann, "애니캐스트 민첩성: DDoS 관리를 위한 적응형 라우팅" *arXiv 사전 인쇄본 arXiv:2006.14058*, 2020.
- [9] S. Sarat, V. Pappas 및 A. Terzis, "DNS에서 애니캐스트 사용에 관하여" *제 15차 컴퓨터 통신 및 네트워크 국제학술대회 간행물*. IEEE, 2006, 71-78페이지.
- [10] WB de Vries, "측정을 통한 Anycast 개선", Ph.D. 논문, 네덜란드 트벤테 대학교, 2019.
- [11] D. Cicalese 및 D. Rossi, "IP 애니캐스트에 대한 종단적 연구" *ACM SIGCOMM 컴퓨터 통신 검토*, 권. 48, 아니. 2018년 1월 1일
- [12] D. Cicalese, J. Auge, D. Joumblatt, T. Friedman 및 D. Rossi, "IPv4 Anycast 채택 및 배포 특성화" p. 2015년 16조.
- [13] Y. Rekhter, T. Li 및 S. Hares, "경계 게이트웨이 프로토콜 4(bgp-4)", 인터넷 의견 요청, RFC 편집자, Tech. 2006년 4271호.
- [14] R. de Oliveira Schmidt, J. Heidemann, JH Kuipers, "애니캐스트 지연 시간: 사이트 수는 얼마나 됩니까?" ~에 수동 및 능동 네트워크 측정에 관한 국제 회의. 스프링거, 2017.
- [15] WB De Vries, R. Van Rijswijk-Deij, P.-T. de Boer, A. Pras, "대규모 DNS 서비스에 대한 수동적 관찰: Google의 2.5년 수명" *네트워크 및 서비스 관리에 대한 IEEE 트랜잭션*, 권. 17, 아니. 1, pp. 190-200, 2020.
- [16] WB 드 브리스, R. d. O. 슈미트, W. 하더커, J. 하이데만, P.-T. de Boer 및 A. Pras, "Verploeter: 광범위하고 로드 인식 애니캐스트 매핑", 기술 보고서 ISI-TR-719, USC/Information Sciences Institute, Tech. 의원, 2017.
- [17] AB Brown 및 JL Hellerstein, "구성 복잡성 벤치마킹에 대한 접근 방식", *ACM SIGOPS 유럽 워크숍 제11차 워크숍 진행*, 선생님. EW 11. 뉴욕, 뉴욕, 미국: 컴퓨터 기계 협회, 2004, p. 18-es.
- [18] AB Brown, A. Keller 및 JL Hellerstein, "구성 복잡성 모델 및 변경 관리 시스템에 대한 적용" *2005년 제9회 IFIP/IEEE 통합 네트워크 관리에 관한 국제 심포지엄, 2005. IM 2005.*, 2005, pp. 631-644.
- [19] 디 우즈, *인간의 실수 뒤에*. 애쉬게이트, 2010. [온라인]. 사용 가능: <https://books.google.nl/books?id=NqeTXB9XDQc>
- [20] J. Graham-Cumming, "2020년 7월 17일 Cloudflare 중단", <https://blog.cloudflare.com/cloudflare-outage-on-july-17-2020/>, 2020년 7월, (2020년 7월 20일에 액세스함).
- [21] Z. Liu, B. Huffaker, M. Fomenkov, N. Brownlee 외., "DNS Anycast 루트 서버 수명의 이틀", *수동 및 능동 네트워크 측정에 관한 국제 회의*. 스프링거, 2007.
- [22] X. Fan, J. Heidemann 및 R. Govindan, "도메인 이름 시스템에서 Anycast 평가", *2013 절차 IEEE INFOCOM*. IEEE, 2013, pp. 1681-1689.
- [23] WB 드 브리스, R. d. O. Schmidt 및 A. Pras, "DDoS 완화를 위한 Anycast 및 그 잠재력", *자율 인프라, 관리 및 보안에 관한 IFIP 국제 컨퍼런스*. 스프링거, 2016, pp. 147-151.
- [24] JH Kuipers, "DDoS용 Anycast," https://essay.utwente.nl/73795/1/Kuipers_MA_EWI.pdf, 2017, [온라인; 2020년 5월 5일 접속함].
- [25] C. Hesselman, GC Moura, R. d. O. Schmidt 및 C. Toet, "최상위 도메인 운영자를 위한 제어 플레인을 통해 DNS 보안 및 안정성 향상" *IEEE 커뮤니케이션 매거진*, 권. 55, 아니. 1, pp. 197-203, 2017.
- [26] H. Ballani, P. Francis 및 S. Ratnasamy, "IP Anycast를 위한 측정 기반 배포 제안", *인터넷 측정에 관한 제6회 ACM SIGCOMM 컨퍼런스 진행*, 2006, pp. 231-244.
- [27] L. Wei와 J. Heidemann, "Anycast가 당신에게 전화를 끊나요?" ~에 *네트워크 트래픽 측정 및 분석 컨퍼런스(TMA)*. IEEE, 2017.
- [28] WB 드 브리스, R. 드 O. 슈미트, W. 하더커, J. 하이데만, P.-T. de Boer 및 A. Pras, "Verploeter를 사용한 광범위하고 로드 인식 애니캐스트 매핑" *2017년 인터넷 측정 컨퍼런스 간행물*, 선생님. IMC '17. 뉴욕, 뉴욕, 미국: 컴퓨팅 기계 협회, 2017, p. 477-488.
- [29] WB de Vries, S. Aljammāz 및 R. van Rijswijk-Deij, "Verploeter를 사용한 글로벌 규모 애니캐스트 네트워크 관리" *NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP 네트워크 운영 및 관리 심포지엄*, 2020.
- [30] S. McQuistin, SP Uppu 및 M. Flores, "야생 인터넷에서 Anycast 길들이기" *인터넷 측정 회의 진행*, 선생님. IMC '19. 뉴욕, 뉴욕, 미국: 컴퓨팅 기계 협회, 2019, p. 165-178.
- [31] L. Wei, M. Flores, H. Bedi 및 J. Heidemann, "양방향 애니캐스트/유니캐스트 프로빙(BAUP): CDN 애니캐스트 최적화" *NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP 네트워크 운영 및 관리 심포지엄*.
- [32] C. Wierfferink, "애니캐스트 네트워크의 성능 시각화" 2019년 7월 트벤테 대학교 학사 논문. [온라인]. 이용 가능: <http://essay.utwente.nl/78642/>
- [33] L. Costella, M. Trentin 및 R. Schmidt, "CatchmentView: Uma Ferramenta para a Análise e Comparação de IPv4 및 IPv6 Catchments," ~에 *Anais Estendidos do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. 포르토 알레그레, RS, 브라질: SBC, 2019, pp. 49-56. [온라인]. 이용 가능: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbrc-estendido/article/view/7769>
- [34] N. Feamster, J. Borkenhagen 및 J. Rexford, "도메인 간 트래픽 엔지니어링을 위한 지침" *SIGCOMM 컴퓨팅. 커뮤니케이터 신부님*, 권. 33, 아니. 5, p. 2003년 19-30일.
- [35] RIPE NCC 직원, "RIPE Atlas: 글로벌 인터넷 측정 네트워크," *인터넷 프로토콜 저널*, 권. 18, 아니. 2015년 3월 3일.
- [36] R. Gao, C. Dovrolis 및 EW Zegura, "최적화된 AS 경로 추가를 통한 도메인 간 수신 트래픽 엔지니어링", *네트워킹 연구에 관한 국제 컨퍼런스*. 스프링거, 2005, pp. 647-658.
- [37] R. Chandra, P. Traina 및 T. Li, "Bgp 커뮤니티 속성", 인터넷 의견 요청, RFC 편집자, Tech. 1997년, 1996년. [온라인]. 사용 가능: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1997.txt>
- [38] GC Moura, J. Heidemann, W. Hardaker, J. Bulten, J. Ceron 및 C. Hesselman, "오래되었지만 금: DNS 애니캐스트 엔지니어링을 위한 TCP 전망(확장)", Tech. 대표 ISI-TR-740, USC/정보 과학 연구소, Tech. 의원, 2020.
- [39] Z. Li, D. Levin, N. Spring 및 B. Bhattacharjee, "인터넷 애니캐스트: 성능, 문제 및 잠재력" *데이터 통신에 관한 ACM 특별 관심 그룹 2018 회의 진행*.
- [40] J. Borkenhagen, R. Bush, R. Bonica 및 S. Bayraktar, "잘 알려진 BGP 커뮤니티에 대한 정책 동작", 인터넷 의견 요청, RFC 편집자, Tech. 2019년 8642호.
- [41] G. Huston, "인터넷의 도메인 간 라우팅에 대한 논평", 인터넷 의견 요청, RFC 편집자, Tech. 의원 3221, 2001.
- [42] M. Luckie, B. Huffaker, A. Dhamdhere, V. Giotsas 및 K. Claffy, "AS 관계, 고객 및 검증" *2013년 인터넷 측정 컨퍼런스 간행물*, 2013, pp. 243-256.
- [43] CAIDA, "CAIDA AS Rank," <http://as-rank.caida.org/>, 2019년 10월, [온라인: 2020년 6월 26일 액세스함].
- [44] LM Bertholdo, JM Ceron, WB de Vries, R. d. O. 슈미트, L. Zambenedetti Granville, R. van Rijswijk-Deij 및 A. Pras, "Tangled: 협력적 Anycast 테스트베드" *arXiv 전자 인쇄물*, p. arXiv:2008.12881, 2020년 8월.
- [45] C. Labovitz, A. Ahuja, A. Bose 및 F. Jahanian, "지연된 인터넷 라우팅 수렴", *ACM SIGCOMM 컴퓨터 통신 검토*, 권. 30, 아니. 4, pp. 175-187, 2000.
- [46] R. Teixeira, S. Uhlig 및 C. Diot, "인접 도메인 간 BGP 경로 전파" *수동 및 능동 네트워크 측정에 관한 국제 회의*. 스프링거, 2007, 11~21페이지.
- [47] RB d. Silva 및 ES Mota, "인터넷에서 BGP 도메인 간 라우팅 수렴 지연을 줄이기 위한 접근 방식에 대한 조사", *IEEE 커뮤니케이션 설문조사 및 튜토리얼*, 권. 19, 아니. 2017년 4월 4일.