

Analys av Twitch

Nils Ceberg (ni7228ce-s@student.lu.se) och Noah Mayerhofer (no1774ma-s@student.lu.se)

Abstract— Twitch levererar enorma mängder liveströmmad video varje dag. I denna undersökning har nätverkstrafiken mellan Twitch och en tittare analyserats med verktyget Wireshark, samt hypoteser kring serverarkitekturen tagits fram. Det visar sig att HTTP Live Streaming-protokollet används. Viss kvantitativ undersökning av bandbredden görs och värdena stämmer med Twitchs uppskattningar. Även distributionsnätverket har analyserats vilket visar sig vara väl geografiskt utspritt och routing verkar ske baserat på land.

I. INTRODUKTION

Videostreaming utgör idag ungefär 60 % av all datatrafik på internet. Att leverera video till miljoner användare med minimala störningar är ingen liten ingenjörsutmaning. Varje månad utgörs 5 000 000 TB av denna trafik av liveströmmar som även sätter krav på fördröjning (normalt ett par sekunder) och komplicerar användandet av exempelvis cachning och komprimering.[1] För att förstå hur vissa av dessa utmaningar lösts har vi analyserat den data som Twitch, en livestreamingplattform med fokus på datorspel, kontinuerligt skickar ut till i genomsnitt drygt en miljon tittare.[2] Twitch har över 46 000 olika jämlöpande liveströmmar dygnet runt och 2017 sågs det totalt 355 miljarder minuter på Twitch – som redan 2014 i sin tur utgjorde ca 40 % av liveströmmar på internet.[3]

II. FRÅGESTÄLLNING

Huvudsakligen består vår frågeställning av två delar: hur Twitchs serverarkitektur ser ut för att kunna leverera live-video av sådan volym, och hur datatrafiken faktiskt är utformad.

Mer konkret ämnar vi undersöka vilka specifika protokoll som används och varför samt eventuella implikationer för prestanda, hur dessa protokoll fungerar, och vilken typ av servrar som slutanvändare är anslutna till (exempelvis ett CDN).

Utöver detta är vi även intresserade av en kvantitativ analys av bandbreddsanvändning och overhead orsakat av de underliggande protokollen, och hur detta påverkas av diverse faktorer såsom vald uppspelningskvalitet.

III. TEORI

A. Transport Layer Security

Transport Layer Security eller TLS är ett protokoll ovanpå TCP som tillåter autentiserade och krypterade anslutningar, och ligger till grunden för HTTPS. Att anslutningen är krypterad säkerställer både att datan som skickas och tas emot inte kan avläsas av tredje part, och att det faktiskt är den data som skickats från avsändaren. Autentiseringen tillåter vardera sida av anslutningen (dock i de flesta fall

enbart klienten) att verifiera att fjärrsidan är den den utger sig för att vara, med hjälp av public/private key-kryptografi.[4]

Användandet av TLS orsakar såklart vissa svårigheter när vi försöker titta på trafiken i Wireshark, och den måste avkrypteras för att kunna läsas. Hur detta åstadkoms behandlas i metodavsnittet.

TLS ersatte föregångaren SSL (Secure Sockets Layer), men termen SSL förekommer fortfarande ofta som synonym för TLS.

B. Content Delivery Network

Ett Content Delivery Network, förkortat CDN, är ett nätverk av servrar som alla serverar samma data. Syftet med detta är att avlasta källan till datan: om bara en server har information som många vill komma åt så kan den bli överbelastad. Förfrågningar till den informationen fördelas därför mellan många servrar så att belastningen sprids ut. Dessa servrar kontaktar emellanåt källservern för att se till att datan är uppdaterad. För att utnyttja funktionaliteten av ett CDN fullt ut brukar dessa servrar spridas ut över världen, och requests fördelas baserat på geografisk proximitet. Detta gör så att tiden det tar att begära datan blir inte blir lång även om man befinner sig långt ifrån källservern.[5]

C. HTTP Live Streaming

HTTP Live Streaming, HLS, är ett protokoll skapat för att skicka både direktsänd och förinspelad video över internet. I sin grundform fungerar HLS genom att en server delar upp en video i korta segment och skapar sedan en spellista som består av Uniform Resource Identifiers (URIs) till dessa segment. Spellistan skickas sedan till en klient som spelar upp segmenten en efter en. Videosegmenten kan skickas över valfritt protokoll men det rekommenderas att det sker med HTTP.

Servern kan även definiera en huvudspellista som skickas först till klienten. En huvudspellista består av URIs till andra spellistor samt definitioner av spellistornas bandbreddsanvändning. [6] Klienten har därav möjligheten att välja en spellista ur huvudspellistan att följa utifrån krav klienten har på sig, till exempel att välja en ström med lämplig bandbreddsanvändning (något som i denna undersökning visas bero på kvalitetsnivå).

IV. METOD

Som testmiljö har vi använt ett hemnätverk med anslutning på 100 Mbit/s ned och 1000 Mbit/s upp. Klientmaskinen har befunnit sig bakom en Google WiFi-router med NAT och varit ansluten trådlöst. Vilken nätverkssetup som använts torde egentligen vara ointressant med tanke på att endast ut-

och ingående paket på den lokala maskinen har analyserats. Det kan dock vara relevant att ISP var Ownit och att testerna gjordes i Lund.

För att undersöka nätverkstrafiken användes nätverkspaketanalysatorn Wireshark och webbläsaren Chrome på en Windows-dator. Anslutningen till Twitch skedde med HTTPS. Alla program på datorn var avstängda förutom Chrome. Twitch-strömmarna som användes <https://www.twitch.tv/bimonstar> för 1080p-resultatet och <https://www.twitch.tv/forsen> används för all annan data (1080p 60FPS inkluderat). Anledningen till att två olika strömmar användes var att kvalitetsinställningen för 1080p saknades från strömmar med kvalitetsinställningar för 60 FPS. Kvaliteten på strömmen ändrades manuellt och sedan laddades webbsidan om samtidigt som inspelningen med Wireshark startade vilket gör att strömmen börjar på kvalitetsinställningen vald innan sidan laddades om. Varje inspelningen var ungefär 45 sekunder. Eftersom dessa startades och stoppades manuellt uppkom fel på ± 2 sekunder.

För att dekryptera HTTPS trafiken användes miljövariablen `SSLKEYLOGFILE`, som ifall den är satt till en sökväg används av Chrome för att logga de nycklar som används vid TLS/SSL-anslutningar. Wireshark kan sedan använda loggfilen för att dekryptera paketen som skickats med HTTPS. Därefter kan paketen manuellt analyseras. När bandbredden analyserades användes I/O graph-funktionen. För att hitta den geografiska positionen av IP-adresser användes både webbsidan iplocation.net och verktyget `tracert` (`tracert`) i Windows 10.

V. RESULTAT

Vid undersökning av paketen som fångades i Wireshark var det första vi kunde konstatera att all trafik till och från Twitch består av TCP (HTTPS).

Vi undersökte sedan vilka HTTP-requests Twitch gör och upptäckte att en GET-request görs till URL:en <https://usher.ttvnw.net/api/channel/hls/<kanalnamn>>. Vid nedladdning av filen får man en textfil som innehåller flera poster, en för varje videokvalitet. Se listning 1 för ett utdrag av en post för 1080p med 60 bilder per sekund.

LISTNING 1: Utdrag ur huvudspellistefil

```
#EXT-X-MEDIA:TYPE=VIDEO,
GROUP-ID="chunked",
NAME="1080p60 (source)",
AUTOSELECT=YES,DEFAULT=YES
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-ID=1,
BANDWIDTH=6702537, RESOLUTION=1920x1080,
CODECS="avc1.4D402A, mp4a.40.2",
VIDEO="chunked", FRAME-RATE=60.000
https://video-weaver.arn03.hls.ttvnw.net
/v1/playlist/KK3pR...EHmOt.m3u8
```

Från denna fil kan vi se den förväntade bandbreddsanvändningen för alla olika videokvaliteter; se tabell I. Vi kan även

utvärdera videons upplösning, codecs, antal bilder per sekund samt att den är uppdelad i segment (eller chunks).

TABELL I: Förväntad bandbreddsanvändning i kbit/s för olika videokvaliteter på Twitch

Video kvalitet	förväntad bandbreddsanvändning (kbit/s)
1080p 60FPS	6702
1080p	2918
720p 60FPS	3426
720p	2376
480p	1431
360p	630
160p	230

Varje post har även en URI som pekar på en ny spellista. Denna fil innehåller protokollversionen, hur långt in i strömmen spellistan är avsedd för, när strömmen ägde rum, hur långt varje klipp är och att varje klipp är live. Se listning 2. Detta ger oss ett tydligt flöde över hur Twitch spelar upp video. Först väljer Twitch en spelista beroende på vilken videokvalitet som ska visas, sedan hämtar den motsvarande spellistan från URL:en i huvudspellistan och spelar därefter upp klippen en efter en. Varannan sekund hämtar klienten nästa uppdaterade version av spellistan.

LISTNING 2: Utdrag ur spellistefil

```
#EXTM3U
#EXT-X-VERSION:3
#EXT-X-TARGETDURATION:6
#EXT-X-MEDIA-SEQUENCE:12899
#EXT-X-TWITCH-ELAPSED-SECS:25798.000
#EXT-X-TWITCH-TOTAL-SECS:25830.000
#EXT-X-PROGRAM-DATE-TIME:
2018-12-10T21:19:17.514
#EXTINF:2.000, live
... arn03.abs.hls.ttvnw.net/v1/segment/...
#EXT-X-PROGRAM-DATE-TIME:
2018-12-10T21:19:19
#EXTINF:2.000, live
https://video-edge-c62828.arn03.abs.hls
.ttvnw.net/v1/segment/CosEQ...NfKP.ts
#EXT-X-PROGRAM-DATE-TIME:
2018-12-10T21:19:21.514
...
```

Vid anslutning mot Twitch från Sverige använder Twitch alltid en URL som har `arnXX` som subdomän (där `XX` är två siffror). Se listning 1 och 2. Vid anslutning från ett annat land via en proxy används istället en annan subdomän. Se tabell II. Vid undersökning av servernas geografiska position blev svaret ottydligt; trots att alla serverna har olika subdomäner så rapporterar iplocation.net samma position.

Vid användning av `tracert` så rapporteras "Destination net unreachable" efter 8 hopp för serverna i USA (se figur 2). Till alla europeiska serverar görs samma hopp tills "Destination net unreachable".

Vid `tracert` till servern i USA får vi istället "Request timed out" för 9 hopp och sedan "Destination

TABELL II: Subdomän för videosegment för Twitch beroende på land

Land vid anslutning	subdomän till abs.hls.ttvnw.net
Sverige	video-edge-c62828.arm03
Nederländerna	video-edge-c625b4.ams02
Storbritannien	video-edge-c55f68.lhr03
Tyskland	video-edge-c55828.fra02
USA	video-edge-ee6cd0.jfk04

FIGUR 1: Traceroute till server för Nederländerna

```

tracing route to video-edge-c625b4.ams02.abs.hls.ttvnw.net [185.42.207.232]
over a maximum of 30 hops:
 0  <1 ms <1 ms <1 ms testwifi.here [192.168.86.1]
 1  1 ms <1 ms 1 ms ge-4-B-dr1.a1.lnd.ownit.se [84.55.112.1]
 2  1 ms 1 ms 1 ms xe-0-0-4-cr1.a2.mlm.ownit.se [89.253.100.180]
 3  1 ms 1 ms 1 ms ti3218b400-ae11-0.ti.telenor.net [148.122.8.113]
 4  11 ms 12 ms 13 ms ti3004c400-ae7-0.ti.telenor.net [146.172.105.53]
 5  12 ms 11 ms 11 ms ti3001c360-ae6-0.ti.telenor.net [146.172.14.121]
 6  10 ms 29 ms 21 ms ti3001b400-ae4-0.ti.telenor.net [146.172.105.29]
 7  52.223.242.225 reports: Destination net unreachable.
Trace complete.

```

net unreachable” vid servern twitch-ic-332806-nyk-b2.c.telia.net, som figur 2 visar.

I tabell III redovisas bandbreddsanvändningen för varje videokvalitetsinställning.

TABELL III: Bandbreddsanvändning för olika videokvaliteter i kbit/s

Video kvalitet	Min	Genomsnittlig	Max
1080p 60FPS	0,5	6385	13750
1080p	1995	2798	3423
720p 60FPS	4	3458	7144
720p	5	2428	5461
480p	0,6	1566	3371
360p	0	773	1762
160p	10	356	736

VI. ANALYS

Strömning via Twitch verkar använda HLS-protokollet. Både listning 1 och 2 ser nästan precis ut som hur spellistfiler ska vara specificerade med undantag för några extra inställningar. Några av dessa inställningar är Twitch-specifika, så som "EXT-X-TWITCH-ELAPSED-SECS" och "EXT-X-TWITCH-TOTAL-SECS" från listning 2. Därmed kan vi dra slutsatsen att Twitch använder HLS för att strömma video. Det finns en huvudspellista som definierar olika videokvaliteter för en ström och en spellista där 2 sekundersklipp definieras.

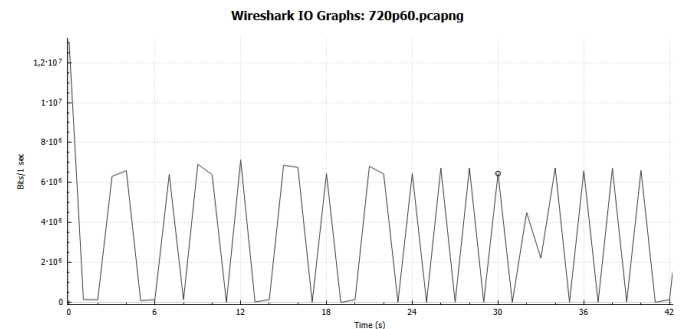
FIGUR 2: Traceroute till server för USA

```

tracing route to video-edge-ee6cd0.jfk04.abs.hls.ttvnw.net [52.223.227.43]
over a maximum of 30 hops:
 0  <1 ms <1 ms <1 ms testwifi.here [192.168.86.1]
 1  <1 ms <1 ms <1 ms ge-4-B-dr1.a1.lnd.ownit.se [84.55.112.1]
 2  2 ms 1 ms 1 ms xe-0-0-4-cr1.a2.mlm.ownit.se [89.253.100.180]
 3  1 ms 1 ms 1 ms ti3218b400-ae11-0.ti.telenor.net [148.122.8.113]
 4  11 ms 12 ms 13 ms ti3004c400-ae7-0.ti.telenor.net [146.172.105.53]
 5  11 ms 11 ms 10 ms ti3001b400-ae4-0.ti.telenor.net [146.172.105.29]
 6  11 ms 11 ms 10 ms s-b5-link.telia.net [213.248.84.1]
 7  108 ms 109 ms 108 ms s-bb4-link.telia.net [62.115.114.164]
 8  108 ms 108 ms 108 ms kbn-bb4-link.telia.net [62.115.139.173]
 9  110 ms 113 ms 110 ms nyk-bb4-link.telia.net [88.91.254.91]
10  111 ms 110 ms 111 ms nyk-b2-link.telia.net [62.115.137.99]
11  * * * Request timed out.
12  * * * Request timed out.
13  * * * Request timed out.
14  * * * Request timed out.
15  * * * Request timed out.
16  * * * Request timed out.
17  * * * Request timed out.
18  * * * Request timed out.
19  * * * Request timed out.
20  * * * Request timed out.
21  * * * Request timed out.
22  twitch-ic-332806-nyk-b2.c.telia.net [213.248.86.147] reports: Destination net unreachable.

```

FIGUR 3: Bandbredd över tid för en 720p-ström med 60 bilder per sekund på Twitch



Dessa klipp spelas sedan upp i ordning av videospelaren på Twitch.

Att strömmen består av korta videoklipp gör att TCP (som HLS över HTTP använder) är ett lämpligt protokoll eftersom dess pålitliga, ordnade dataström möjliggör exempelvis inter frame-kodning i komprimeringen.[8]

All kommunikation mellan användare och Twitch är krypterad med hjälp av TLS. Därmed är det i princip omöjligt att dekryptera trafiken om man inte har tillgång nycklarna som används vid kryptering. Därför är informationen som skickas säker.

Vår kvantitativa undersökning av bandbreddsanvändningen gav ett resultat som tydligt korrelerar med videokvalitet; se tabell III. Det som sticker ut är den minimala bandbredden för 1080p. Detta förklaras nedan. Vid analys av bandbreddsanvändningen över tid syns det tydligt att Twitch skickar datan i spikar som sker ungefär varannan sekund. Se figur 3. Vi kan också se att de finns en stor spik precis när webbsidan laddas.

Den genomsnittliga bandbreddsanvändningen vi mätte stämmer nästan helt överens med den förväntade bandbreddsanvändningen definierad i av Twitch i huvudspellistan. Bandbredden skiljer sig som mest med 317 kbit/s. De skillnader som finns kan bero på att bandbredden definierad i huvudspellistan bara är bandbredden för strömmen medan datan vi mätte är all data Twitch skickade eftersom det inte gick att urskilja videodata från resten av datan. Det kan också vara så att just den tiden vi samlade in data för skiljde sig från genomsnittet, eftersom genomsnittet förmodligen är baserat på hur mycket data som skickas över flera timmar och vi samlade in data i nästan en minut.

Den minimala bandbreddsanvändningen ligger på 10 kbit/s och mindre för alla kvalitetsinställningar förutom 1080p som ligger på nästan 2000 kbit/s. Detta beror med största sannolikhet på att den datan är tagen från en annan ström. Eftersom den skiljer sig så mycket bör den därför inte jämföras med resten av datan. Eftersom kvalitetsinställningarna för 60 FPS och 1080p inte kan finnas på samma ström samtidigt och att det skiljer sig i bandbreddsanvändning verkar det som att det finns skillnader mellan olika Twitch-strömmar. Det verkar därför som att det finns någon typ av inställning strömmaren kan göra som stänger av 1080p och

sätter igång 60 FPS samt ändrar hur Twitch skickar data. En undersökning som kan göras i framtiden är att undersöka om resten av kvalitetsinställningarna för en ström med 1080p också skiljer sig i bandbreddsanvändningen från en ström med kvalitetsinställningar för 60 FPS.

Huvudspellistan kommer alltid från en central server som verkar vara belägen i USA. Användaren blir sedan ansluten till olika servrar beroende på vilket land anslutningen sker ifrån. Det som framförallt ändras i servernamnen är tre bokstäver: I vår undersökning fick vi bokstäverna ARN, LHR, AMS och JFK. Alla dessa förkortningar är flygplatskoder och verkar tillhöra flygplatser i de land vi provat att ansluta ifrån. ARN för Arlanda Stockholm Airport, LHR för London Heathrow Airport, AMS för Amsterdam Schiphol Airport och JFK för John F. Kennedy Airport. Dessa används antagligen endast som godtyckliga koder för att representera olika datacenter, det vill säga distributionsnätverkets points of presence.

Den geografiska positionen för de europeiska serverna går inte att bestämma med säkerhet; iplocation.net, som aggregerar ett antal olika geolocation-tjänster, rapporterar både Belgien och USA för dessa. Vid försök till analys med hjälp av traceroute får vi till slut "Destination net unreachable". Detta är på grund av att Twitch blockerar ICMP-trafik när den nått deras nät[7]. Eftersom vägen till alla europeiska servrar är den samma fram till "Destination net unreachable", är det troligt att man oavsett vilken server man försöker nå först blir routad in på Twitchs nätverk.

Detta innebär att Twitch har någon typ av CDN där användaren ansluter till olika servrar beroende på vilket land anslutningen sker ifrån. Notera att det alltså inte nödvändigtvis verkar vara baserat på geografisk närhet. Baserat på att vi blivit tilldelade servrar med namn som skiljer sig mellan alla länder som provats verkar det som att Twitch har ett stort antal points of presence – åtminstone om flygplatskoderna faktiskt representerar fysiskt separata datacenter.

VII. SAMMANFATTNING

Vi har med hjälp av Wireshark lyssnat, dekrypterat och analyserat trafik vid konsumering av en videoliveström på Twitch. HTTP-konversationen dekonstruerades och visade att det skickas två typer av spellistor, en huvudspellista som är en lista över spellistor för olika videokvaliteter och en spellista som har klippen som ska spelas upp. Varje videokvalitet har sedan en tillhörande spellista av videosegment på 2 sekunder som Twitch spelar upp. Detta är precis så som HLS fungerar och därmed identifierades HLS som protokollet som används. Detta bygger alltså i sin tur på protokollstacken HTTP, TLS och TCP.

Vi gjorde även en kvantitativ analys av bandbreddsanvändningen och såg att den stämde väldigt väl överens med vad som förväntades baserat på de uppskattningar som inkluderas i HLS-spellistorna, samt att det tydligt är korrelerat med kvalitetsinställning.

Även distributionsnätverket undersöktes och vi drog slutsatsen att det verkar vara mycket utbyggt med många nätverksnoder utspridda över världen.

REFERENSER

- [1] Cisco, "NI Global Fixed and Mobile Internet Traffic Forecasts". Hämtad: 24 november 2018. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.html>
- [2] TwitchTracker, "Twitch statistics and charts". Hämtad: 24 november 2018. <https://twitchtracker.com/statistics>
- [3] Eadicco, L., "10 Facts About Twitch, The Company That Amazon Is Buying, That Will Blow Your Mind". 25 augusti 2017. Hämtad: 24 november 2018. <https://www.businessinsider.com/statistics-about-twitch-2014-8?r=US&IR=T&IR=T>
- [4] Rescorla, E., "RFC 8446: The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3". Hämtad: 14 december 2018. <https://tools.ietf.org/html/rfc8446>
- [5] Akamai, "What is a CDN?". Hämtad: 29 november 2018. <https://www.akamai.com/uk/en/cdn/what-is-a-cdn.jsp>
- [6] Pantos, R., Ed., and May, W., "HTTP Live Streaming", RFC 8216, DOI 10.17487/RFC8216, augusti 2017. Hämtad: 14 december 2018. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc8216>
- [7] Twitch, "How to Perform a Traceroute to Twitch". 5 april 2016 Hämtad: 12 december 2018. <https://help.twitch.tv/customer/portal/articles/1293950-how-to-perform-a-traceroute-to-twitch>
- [8] Wikipedia, "Inter frame". Hämtad: 14 december 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Inter_frame