DATANETTVERK EKSAMEN

Kandidatnummer:
228

Reliable Transport Protocol (DRTP)

Innholdsfortegnelse

Introduksjon

Pålitelig overføring av data er avgjørende i moderne datanettverk for å sikre at informasjon sendes korrekt, selv over forbindelser som kan være ustabile eller upålitelige. I dette prosjektet har jeg implementert og testet en egendefinert pålitelig transportprotokoll (DRTP) for å overføre filer mellom to verter i et simulert nettverksmiljø ved hjelp av Mininet.

Eksperimentene ble gjennomført med en enkel topologi bestående av to verter og en ruter. Målet med prosjektet er å undersøke hvordan ulike nettverksforhold som vindusstørrelse, round-trip time (RTT) og pakketap påvirker gjennomstrømningen og ytelsen til filoverføringsapplikasjonen basert på DRTP.

Det er blant annet testet hvordan økende vindusstørrelse påvirker throughput, hvordan endringer i RTT påvirker effektiviteten, og hvordan protokollen oppfører seg ved pakketap eller dropp. Disse testene demonstrerer hvordan DRTP håndterer retransmisjoner, bekreftelser (ACKs), og avslutning av forbindelsen.

Hensikten med prosjektet er å evaluere hvor sterk og effektiv den egendefinerte protokollen er under ulike forhold, og samtidig få innsikt i hvordan transportprotokoller bygges for å sikre pålitelig kommunikasjon over IP-baserte nettverk.

Kodesnippets

Header:

Headeren i en datapakke er den delen av pakken som inneholder kontrollinformasjon som er nødvendig for at sender og mottaker skal kunne håndtere kommunikasjonen riktig. Headeren består av metadata som forteller hvordan dataene skal behandles, og må ikke forveksles med dataen som skal sendes. «!HHHH» beskriver headerens struktur med fire 16-bits heltall (seq, ack, flags, window) i nettverksrekkefølge. Dette er viktig for korrekt inn- og utpakking av pakker i Go-Back-N-protokollen.

```python
# Define constants
HEADER_SIZE = 8
MAX_DATA_SIZE = 992
TIMEOUT = 0.4
DEFAULT_PORT = 8080

# Define flag bits
SYN = 0b0010
ACK = 0b0001
FIN = 0b0100
RESET = 0b1000

def log(message):
    # Print a message with timestamp
    print(f"{datetime.now().strftime('%H:%M:%S.%f')} -- {message}")

def create_packet(seq=0, ack=0, flags=0, window=0, data=b''):
    # Create a packet by combining header and data
    header = struct.pack('!HHHH', seq, ack, flags, window)
    return header + data

def parse_packet(packet):
    # Extract components from a packet
    seq, ack, flags, window = struct.unpack('!HHHH', packet[:HEADER_SIZE])
    data = packet[HEADER_SIZE:] if len(packet) > HEADER_SIZE else b''
    return seq, ack, flags, window, data
```

Go-Back-N:

I denne kodebiten ser man implementeringen av Go-Back-N protokollen for å øke pålideligheten i overføringen av filer. Det som skjer er at klienten sender pakker i et vindu (sliding window) og venter på bekreftelser (ACK) fra mottakeren. Når en ACK-pakke mottas, sjekker klienten om flagg og sekvensnummer stemmer (kodelinje 230–234). Hvis ACKen gjelder en pakke i vinduet, fjernes den pakken og alle tidligere pakker fra vinduet (kodelinje 237–240), og vinduets startposisjon oppdateres (linje 243).

Hvis en RTO (retransmission timeout) oppstår (kodelinje 245), betyr det at klienten ikke har mottatt ACK i tide. Da antas det at pakken og eventuelle påfølgende pakker i vinduet er tapt, og de sendes derfor på nytt (kodelinje 248–251).Denne mekanismen sikrer at pakker blir levert i riktig rekkefølge, uten tap, og på en pålitelig måte ved at tapte pakker oppdages og sendes på nytt.

```python
while base <= len(chunks):
    # Send packets in window
    while next_seq < base + window_size and next_seq <= len(chunks):
        packet = create_packet(seq=next_seq, data=chunks[next_seq-1])
        client.sendto(packet, server_addr)
        window[next_seq] = packet

        window_str = "{" + ", ".join(str(s) for s in sorted(window.keys())) + "}"
        log(f"packet with seq = {next_seq} is sent, sliding window = {window_str}")
        next_seq += 1

    # Wait for ACK or timeout
    try:
        data, _ = client.recvfrom(HEADER_SIZE + MAX_DATA_SIZE)
        seq, _, flags, _, _ = parse_packet(data)

        if flags & ACK:
            log(f"ACK for packet = {seq} is received")

            # Remove acknowledged packets
            for s in list(window.keys()):
                if s <= seq:
                    del window[s]

            # Advance base
            base = seq + 1

    except socket.timeout:
        # Timeout - retransmit all packets in window
        log("RTO occured")
        for seq in sorted(window.keys()):
            log(f"retransmitting packet with seq =  {seq}")
            client.sendto(window[seq], server_addr)
```

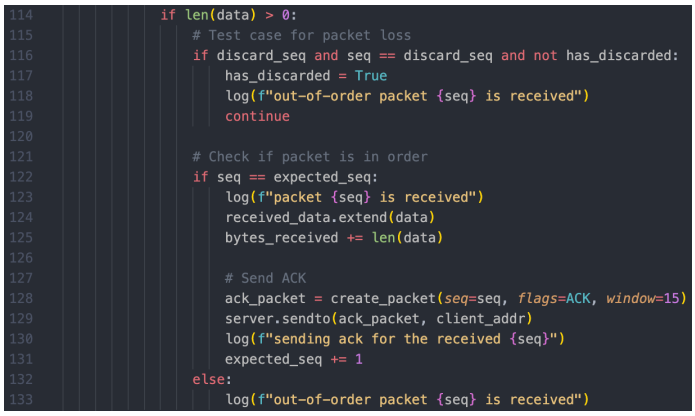
Three-Way Handshake:

Denne koden viser hvordan klienten etablerer en forbindelse med serveren. Først sendes en SYN-pakke (linje 157-159). Deretter venter klienten i en løkke på SYN-ACK fra serveren (linje 165-173). Når SYN-ACK mottas, tilpasses vindusstørrelsen til det minste av klientens og serverens vindu, og en ACK sendes tilbake for å fullføre håndtrykket (linje 179-181). Hvis klienten ikke mottar svar innen 5 sekunder, sendes SYN-pakken på nytt (linje 188). Prosessen er fullført når syn_ack_received settes til True og løkken avsluttes.

```
154     # Send SYN
155     syn = create_packet(flags=SYN, window=window_size)
156     client.sendto(syn, server_addr)
157     print("SYN packet is sent")
158
159     # Wait for SYN-ACK
160     syn_ack_received = False
161     start_time = time.time()
162
163     while time.time() - start_time < 5:  # 5-second timeout for connection
164         try:
165             data, addr = client.recvfrom(HEADER_SIZE + MAX_DATA_SIZE)
166             server_addr = addr  # Update server_addr
167             _, _, flags, server_window, _ = parse_packet(data)
168
169             # Check if SYN-ACK
170             if (flags & SYN) and (flags & ACK):
171                 print("SYN-ACK packet is received")
172
173                 # Negotiate window size
174                 window_size = min(window_size, server_window)
175
176                 # Send ACK
177                 ack = create_packet(flags=ACK)
178                 client.sendto(ack, server_addr)
179                 print("ACK packet is sent")
180                 print("Connection established")
181                 connection_time = time.time() - connection_start_time
182                 print(f"Connection establishment took {connection_time:.2f} seconds")
183
184                 syn_ack_received = True
185                 break
186
187         except socket.timeout:
188             log("Timeout waiting for SYN-ACK, retrying")
189             client.sendto(syn, server_addr)
```

Discard:

Denne koden viser hvordan serveren håndterer pakketap i overføringen. Hvis en pakke skal forkastes for testing (linje 116-119), markeres dette med has_discarded = True og pakken ignoreres med continue. For pakker som mottas i riktig rekkefølge (linje 122-123), legges dataen til i bufferen, bytes telles opp, og en bekreftelse (ACK) sendes tilbake (linje 128-130). Pakker som kommer i feil rekkefølge logges bare som "out-of-order" (linje 133-134). Dette simulerer pakketap i et nettverk og tester protokollens evne til å håndtere feil.



```
114             if len(data) > 0:
115                 # Test case for packet loss
116                 if discard_seq and seq == discard_seq and not has_discarded:
117                     has_discarded = True
118                     log(f"out-of-order packet {seq} is received")
119                     continue
120
121                 # Check if packet is in order
122                 if seq == expected_seq:
123                     log(f"packet {seq} is received")
124                     received_data.extend(data)
125                     bytes_received += len(data)
126
127                     # Send ACK
128                     ack_packet = create_packet(seq=seq, flags=ACK, window=15)
129                     server.sendto(ack_packet, client_addr)
130                     log(f"sending ack for the received {seq}")
131                     expected_seq += 1
132                 else:
133                     log(f"out-of-order packet {seq} is received")
```

Discussion

Throughput sammenlikning:

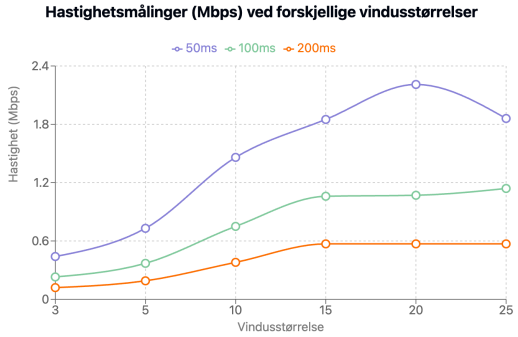
Som tabellen viser, øker gjennomstrømningen jevnt med økende vindusstørrelse opp til et visst punkt. For alle forsinkelsesnivåer ser vi en betydelig ytelsesøkning når vindusstørrelsen økes fra 3 til 20. Dette skyldes at større vinduer tillater flere pakker å være i transitt samtidig, som utnytter nettverkets kapasitet bedre.

Ved 50ms forsinkelse nås optimal gjennomstrømning på 2.21 Mbps ved vindusstørrelse 20, før den reduseres til 1.86 Mbps ved vindusstørrelse 25. Dette representerer et fall på ca. 16%. Interessant nok observeres ikke samme mønster ved 100ms forsinkelse, der ytelsen fortsetter å øke svakt til 1.14 Mbps ved vindusstørrelse 25.

Reduksjonen i ytelse ved vindusstørrelse 25 skyldes økt sannsynlighet for pakketap når for mange pakker sendes samtidig. I Go-Back-N-protokollen medfører ett enkelt pakketap retransmisjon av alle etterfølgende ukvitterte pakker, noe som reduserer effektiv gjennomstrømning. Dette er mindre fremtredende ved høyere forsinkelser, da færre pakker rekker å sendes før RTO oppstår.

På 200ms forsinkelse kan man se at protokollen har nådd sitt metningspunkt på vindusstørrelse 15, og at gjennomstrømningen derfor ikke øker videre ved vindusstørrelser 20 og 25. Dette skjer fordi den høye forsinkelsen begrenser hvor mange pakker som kan bekreftes før timeout inntreffer. Med en RTT på ca. 400ms vil pakker sendt utover en viss grense bare øke sannsynligheten for retransmisjoner uten å forbedre ytelsen. Dette viser hvordan forsinkelse, ikke bare vindusstørrelse, setter en øvre grense for praktisk oppnåelig gjennomstrømning.

	Window size: 3	Window size: 5	Window size: 10	Window size: 15	Window size: 20	Window size: 25
50ms	0.44 Mbps	0.73 Mbps	1.46 Mbps	1.85 Mbps	2.21 Mbps	1.86 Mbps
100ms	0.23 Mbps	0.37 Mbps	0.75 Mbps	1.06 Mbps	1.07 Mbps	1.14 Mbps
200ms	0.12 Mbps	0.19 Mbps	0.38 Mbps	0.57 Mbps	0.57 Mbps	0.57 Mbps



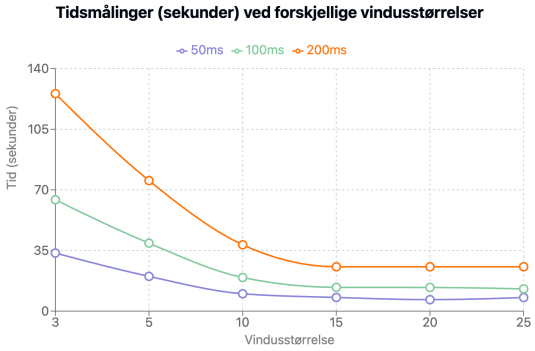
Her er forskjellene på datagjennomstrømming vist i et diagram som bedre visualiserer påvirkningen vindusstørrelse har på datagjennomstrømmingen.

Neste tabell viser forskjellen i tiden overføringene tar. Vi ser en klar reduksjon i overføringstid når vindusstørrelsen øker fra 3 til 20, som korresponderer med den tidligere observerte økningen i gjennomstrømning.

Ved 50ms forsinkelse er beste overføringstid på 6.61 sekunder ved vindusstørrelse 20, mens tiden øker til 7.84 sekunder ved vindusstørrelse 25, noe som bekrefter redusert effektivitet ved for store vinduer. Ved 100ms forsinkelse ser vi en gradvis reduksjon i overføringstid gjennom hele spekteret av vindusstørrelser.

På 200ms forsinkelse flater overføringstiden ut rundt 25.6 sekunder for vindusstørrelser 15, 20 og 25, som da styrker konklusjonen om at vi har nådd et metningspunkt der nettverkets høye forsinkelse setter en grense for hvor raskt overføringen kan fullføres, uavhengig av økning i vindusstørrelsen.

	Window size: 3	Window size: 5	Window size: 10	Window size: 15	Window size: 20	Window size: 25
50ms	33.53 sek	20.06 sek	10.01 sek	7.89 sek	6.61 sek	7.84 sek
100ms	64.26 sek	39.21 sek	19.41 sek	13.72 sek	13.66 sek	12.82 sek
200ms	125.53 sek	75.35 sek	38.28 sek	25.61 sek	25.61 sek	25.63 sek



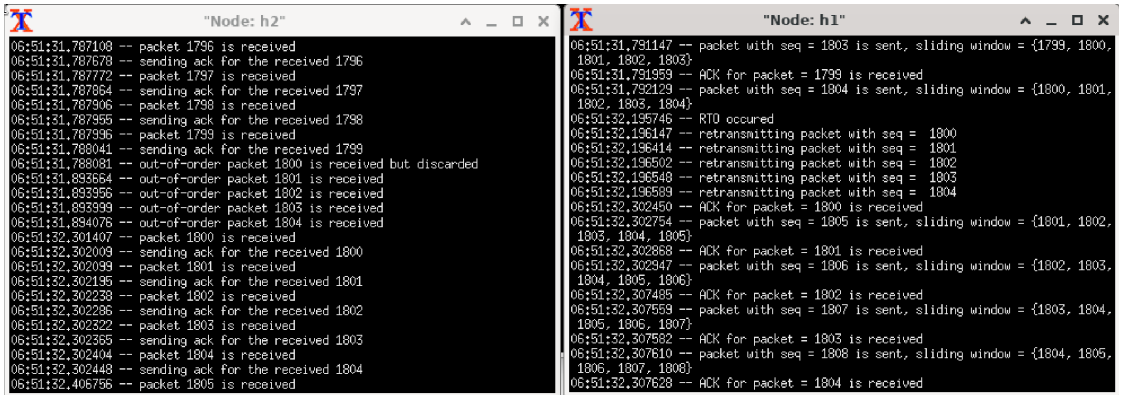
Her er tidsforskjellene vist i diagram for å bedre visualisere påvirkningen vindusstørrelse har på tiden det tar å overføre.

Discarding

På h2 ser man at pakkene frem til 1799 mottas og bekreftes slik de skal. På pakke 1800 har det skjedd et pakketap ettersom koden ble kjørt med -d 1800. De pakkene som er i samme vindu etter 1800 blir identifisert som «out-of-order» og sender derfor ikke noe ACK. Da starter retransmisjonen som følger av Go-Back-N protokollen.

På h1 ser vi at etter å ha sendt pakke 1803, oppstår en timeout ("RTO occurred"). Dette utløser retransmisjon av alle ubekreftede pakker i vinduet, fra 1800 til 1803. Etter retransmisjonen blir pakkene mottatt i riktig rekkefølge av serveren, som nå sender ACK for dem, og dataoverføringen fortsetter normalt.

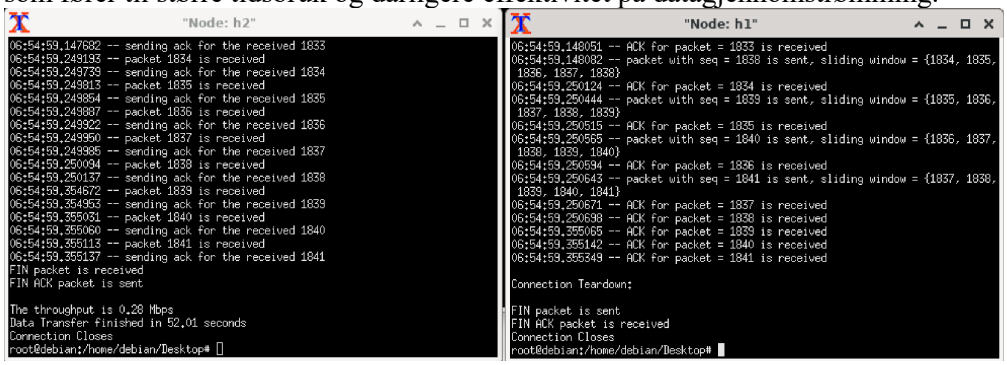
Dette demonstrerer effektivt hvordan Go-Back-N protokollen håndterer pakketap ved å sende alle ubekreftede pakker på nytt når en timeout oppstår, og hvordan serveren avviser pakker som kommer ut av rekkefølge.



Simulert pakketap

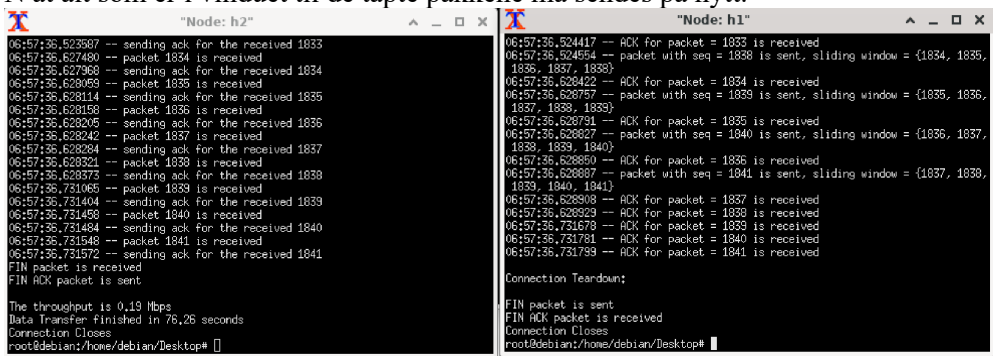
100ms delay, window size 5, 2% packet loss:

Når pakkene ble sendt med 2% pakketap ble det merkbart at det tok lengre tid og det ble dårligere datagjennomstrømming. Dette er fordi mange pakker må sendes på nytt grunnet Go-Back-N protokollen, noe som fører til større tidsbruk og dårligere effektivitet på datagjennomstrømming.



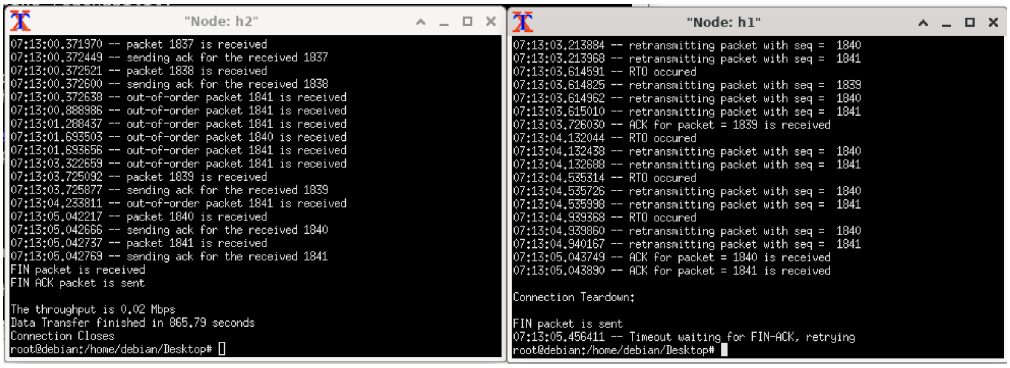
100ms delay, window size 5, 5% packet loss:

Det samme skjer når man øker prosentandelen på pakketap. Det tar enda lengre tid og det blir enda dårligere datagjennomstrømning fordi det er enda flere pakker som må retransmiteres. Det er igjen grunnet Go-Back-N at alt som er i vinduet til de tapte pakkene må sendes på nytt.



100ms delay, window size 5, 50% packet loss:

Dette var det som tok desidert lengst tid. 50% pakketap fører til at omtrent halvparten av pakkene går tapt og at de pakkene som er i samme vindu må sendes om igjen, noe som fører til at majoriteten av pakkene må sendes på nytt. Dette tok da 14 minutter for maskinen å gjøre.



Konklusjon

Gjennom dette prosjektet har jeg implementert en egen pålitelig transportprotokoll (DRTP) og testet den under varierende nettverksforhold. Eksperimentene viser tydelig at ytelsen påvirkes betydelig av vindusstørrelse, forsinkelse og pakketap.

Resultatene demonstrerer at for optimal gjennomstrømning bør vindusstørrelsen tilpasses nettverkets forsinkelse. Ved kort forsinkelse (50ms) ga vindusstørrelse 20 best ytelse, mens ved lengre forsinkelser flater ytelsesgevinsten ut. Dette bekrefter at større vinduer ikke alltid gir bedre resultater, særlig når forsinkelsen er høy eller pakketap forekommer.

Pakketapstestene viser hvordan Go-Back-N-protokollens retransmisjonsmekanisme fungerer, men også dens svakhet ved høye pakketap hvor hele vinduer må sendes på nytt. Ved 50% pakketap ble overføringstiden drastisk forlenget, noe som illustrerer protokollens begrensninger under ekstreme forhold.

Implementasjonen har gitt verdifull innsikt i transportprotokollenes virkemåte og utfordringer, samt praktisk erfaring med hvordan pålitelig dataoverføring kan kjøres over upålitelige nettverk. Protokollen fungerer under normale forhold, men kunne potensielt forbedres ved å implementere selektiv retransmisjon for å håndtere hyppig pakketap mer effektivt. (Islam, Datanettverk og Skytjenester, 2025)

Bibliografi

Islam, S. (2025). *Datanettverk og Skytjenester*. Hentet fra OsloMet Instructure : https://oslomet.instructure.com/courses/30561/modules

Islam, S. (2025, Mai). *DRTP-v25*. Hentet fra Github: https://github.com/safiqul/DRTP-v25

Islam, S. (u.d.). *Introduction to Mininet*. Hentet fra Github: https://github.com/safiqul/2410/blob/main/docs/intro/mininet-intro.md