

UAI - Laboratorium 4 - TCP

Stanisław Kwiatkowski, Bartosz Ziemba, Kamil Stachowicz

1. Wprowadzenie

1.1. Cel laboratorium

Głównym celem laboratorium jest zrozumienie działania protokołu TCP w wyniku przeprowadzania symulacji sieci. Zadania zawarte w nim opierały się na badaniu wydajności w zależności od najważniejszych parametrów sieci, takich jak: wielkość maksymalnego okna, rozmiar buffora oraz czas opóźnienia RTT. Co ważne oprócz podstawowej obserwacji zachowania protokołu trzeba również wyznaczyć ich wartości optymalne oraz wytłumaczyć ich pochodzenie.

2. Zadania Laboratoryjne

2.1. Zadanie 1

2.1.1. Obliczanie teoretycznej wielkości optymalnego okna TCP

Wyjściem do naszych obliczeń jest wzór na chwilową przepływność

$$PrzeplownoscTCP = \frac{cwnd}{RTT}$$

Maksymalne okno wyznaczymy wtedy, gdy chwilowa przepływność będzie maksymalna czyli równa pojemności łącza. Dlatego też najpierw musimy wyznaczyć parametr RTT, który jest sumą opóźnień transmisji sygnału oraz odczytać pojemność łącza.

$$MaksOkno = PrzeplownoscTCP * RTT$$

$$RTT = 2 * [D(Z1 - R1) + D(R1 - R2) + D(R2 - o1)] = 2 * (10 + 70 + 10) = 180[ms] = 0.18[s]$$
$$Cap(R1 - R2) = 10[Mb] = 10000000[b]$$

Następnie obliczamy wartość mając na uwadze zmianę jednostek oraz overhead

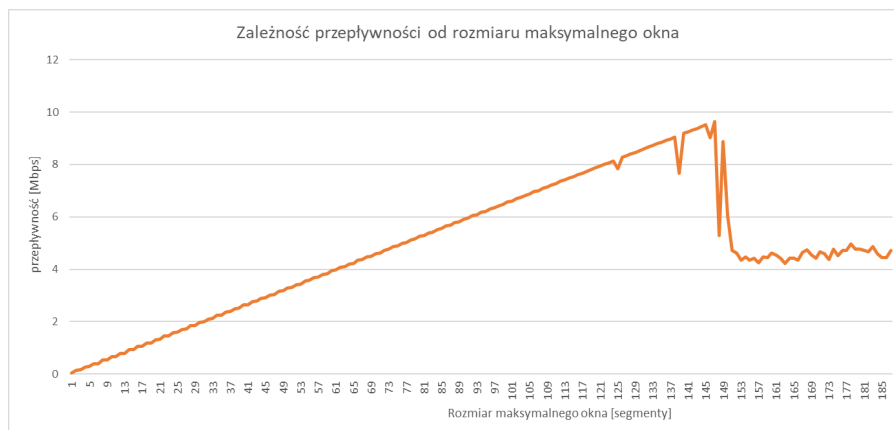
$$MaksOkno = \frac{Cap * RTT}{8 * (1460 + 40)}$$

$$MaksOkno = 150$$

Czyli jako wartość okna TCP można przyjąć 150 segmentów.

2.1.2. Badanie przepływności połączenia TCP w zależności od rozmiaru maksymalnego okna

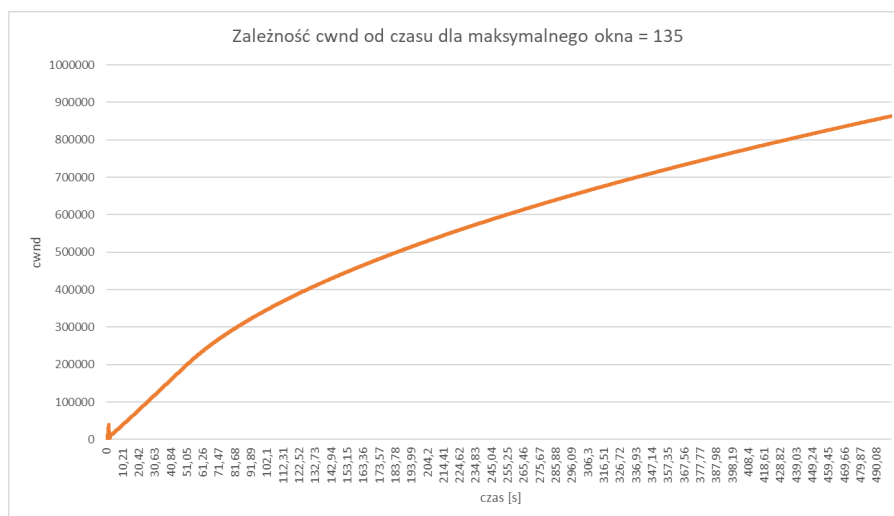
W tej części sprawdzamy jaki wpływ na przepływność TCP ma rozmiar okna.



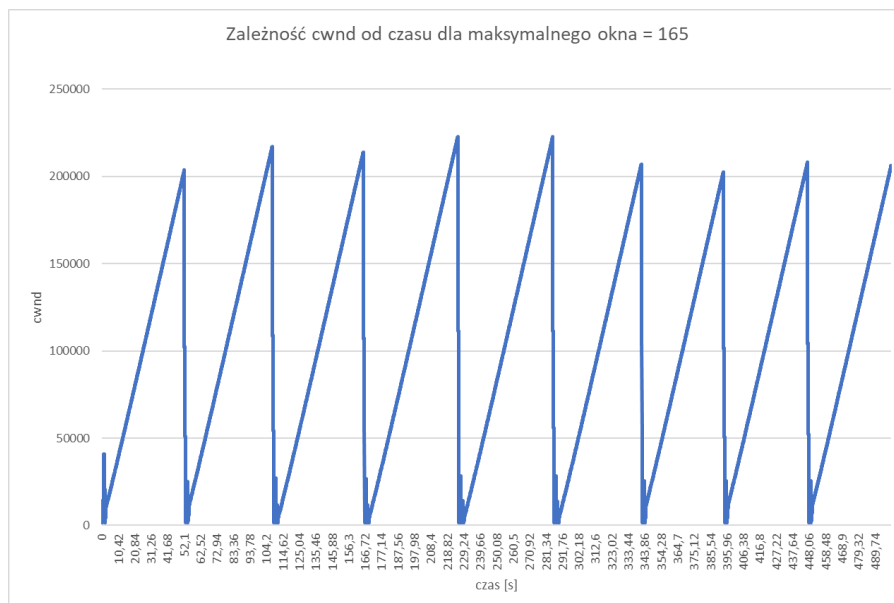
Rys. 1: Wykres przepływności od rozmiaru max okna

Jak widać wykres ten potwierdza, że największa przepływność o wartości bliskiej przepustowości (10 Mb) występuje w okolicy 150 segmentów, a tak naprawdę chwilę przed nią. Jest to spowodowane tym, że wcześniej obliczony rozmiar okna jest tylko teoretyczny, a faktyczny optymalny wynik maxCwnd występuje na kilka segmentów przed nim. Po przekroczeniu tej wartości następuje gwałtowny spadek przepływności co może być spowodowane przeciążeniem sieci lub bufora, czyli zbyt dużą ilością danych wysyłanych bez potwierdzenia, co skutkuje opóźnieniami oraz utratą czy odrzucaniem pakietów.

2.1.3. Zależność parametru cwnd od czasu symulacji



Rys. 2: Wykres cwnd od czasu dla maxOkna = 135



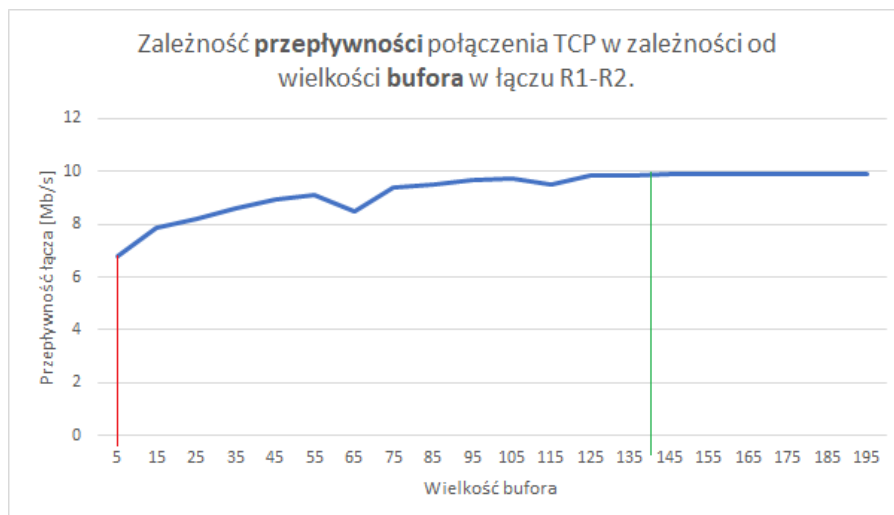
Rys. 3: Wykres cwnd od czasu dla maxOkna = 165

Jak widać parametr cwnd opisujący faktyczny chwilowy rozmiar okna zachowuje się zupełnie inaczej w zależności od rozmiaru maksymalnego okna. Szczególnie dziwne wydaje się jego zachowanie po przekroczeniu wartości optymalnej (przypadek MaksOkno = 165). Jest to związane z utratą pakietów w chwili przekraczania optymalnej wartości okna (szczyt wykresu przypada na 220088 b co niemal idealnie odpowiada 150 pakietom). Widzimy wtedy wyzerowanie parametru cwnd i poszczególne fazy algorytmu (congestion control), co po pewnym czasie prowadzi do kolejnego przekroczenia wartości optymalnej i ponownego wyzerowania okna. Jeśli jednak wartość maksymalnego okna zostanie ustawiona na 10% poniżej wartości optymalnej widzimy stopniowy i "zdrowy" wzrost parametru cwnd nie prowadzący do utraty pakietów.

2.2. Zadanie 2

2.2.1. Zależność przepływności łącza od wielkość bufora

Wykres przedstawiający zależność przepływności łącza od wielkości bufora znajduje się na Rys 4. Na jego podstawie ustaliliśmy optymalny bufor na poziomie 130 bitów, oznaczony linią koloru zielonego. Minimalny bufor, oznaczony na czerwono, wynosi 5 bitów.

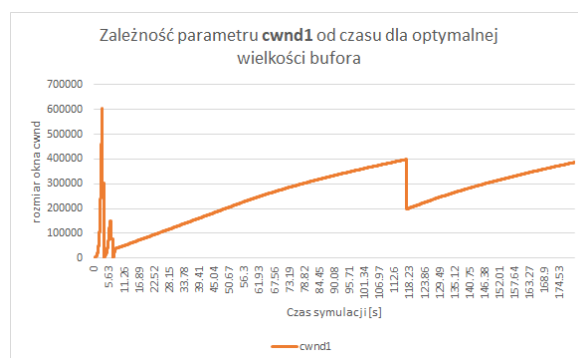
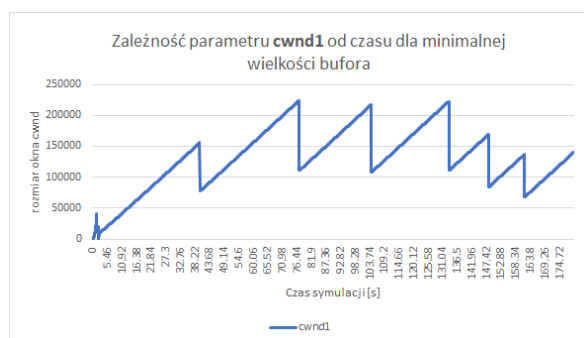


Rys. 4: Przepływność łącza od wielkości bufora

Poniżej przedstawione zostały wykresy obrazujące porównanie zmian pewnych parametrów w czasie, dla minimalnego (po lewej stronie) i optymalnego bufora (po prawej stronie).

2.2.2. Zależności rozmiaru okna od czasu symulacji

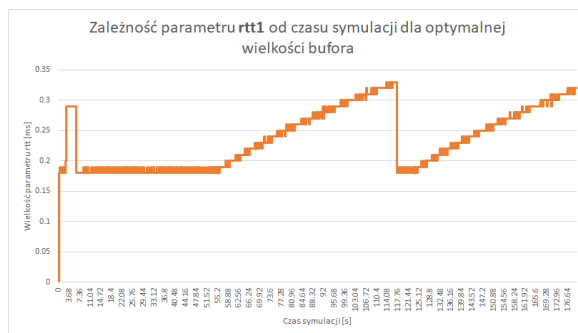
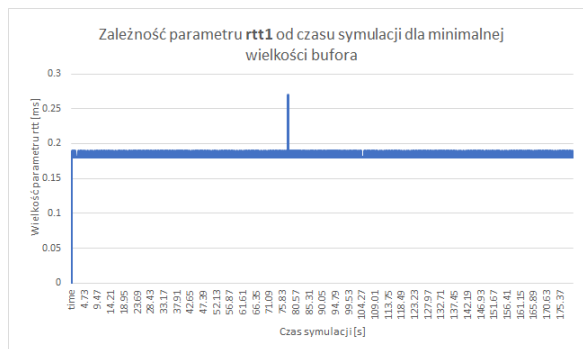
Na pierwszym przedstawionym poniżej wykresie można zaobserwować fazę początkową, zwaną Slow Start, która jest pierwszym etapem działania protokołu TCP. W tym okresie wartość cwnd (okno przepływu) rośnie wykładniczo. Po przekroczeniu wartości ssthresh, połączenie przechodzi w fazę unikania przeciążenia (congestion avoidance). Warto również zwrócić uwagę na wystąpienie straty segmentu, co jest sygnalizowane przez otrzymanie trzech potwierdzeń duplikatów (Dup-ACK) oraz na fazę retransmisji. Na drugim wykresie można zauważyć nietypowy początkowy bardzo duży wzrost rozmiaru okna, po którym następuje spadek, a dopiero później standardowa faza Slow Start. Można również dostrzec przejście w fazę unikania przeciążenia (congestion avoidance).



Rys. 5: Zależności rozmiaru okna od czasu symulacji

2.2.3. Zależności czasu rtt od czasu symulacji

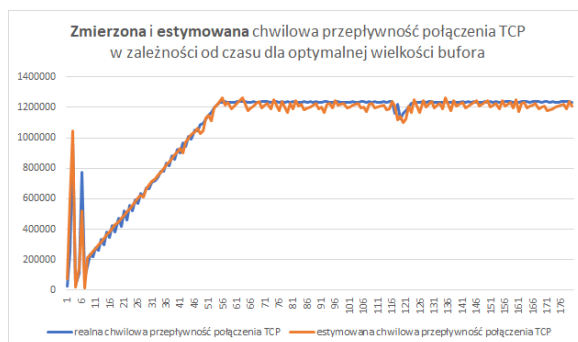
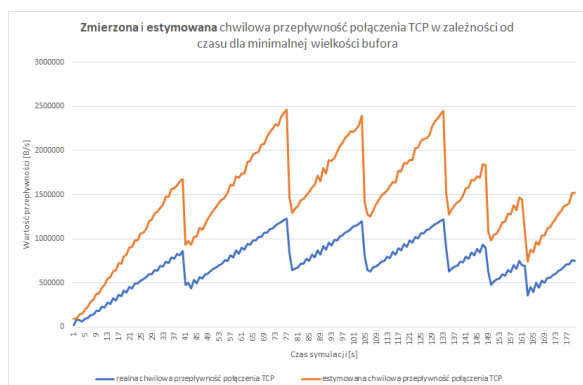
Na pierwszym wykresie widać, że opóźnienie jest stabilne. Natomiast na drugim, wzniosy i spadki wynikają ze stopniowego zapełniania bufora, które powoduje coraz większe opóźnienia.



Rys. 6: Zależności czasu rtt od czasu symulacji

2.2.4. Zależności realnej/estymowanej przepływności od czasu symulacji

Wartość realnej przepływności łącza została zmierzona przez różnice przesłanych bitów na jednostkę czasu. Wartość estymowana została obliczona ze wzoru $rate \sim \frac{cwnd}{rtt}$. W przypadku pierwszego wykresu widać, że estymowane wartości są znacznie wyższe od zmierzonych. Jest to spowodowane nie uwzględnianiem różnych czynników wpływających na rzeczywiste przepływy sieciowe, takich jak utrata pakietów, opóźnienia czy przeciążenie sieci. Na drugim wykresie natomiast, wartości te są bardzo do siebie zbliżone. Widać na nich wzrost w fazie rozruchu oraz utrzymywanie się na stabilnym poziomie przy ustaleniu się parametrów przesyłu.



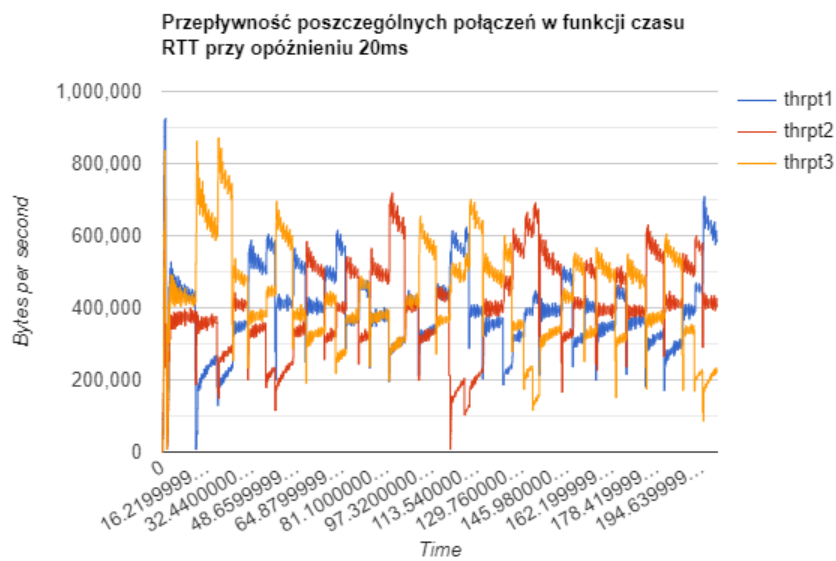
Rys. 7: Zależności realnej/estymowanej przepływności od czasu symulacji

Aby zmaksymalizować transmisję przez ustalenie optymalnej wartości bufora, możemy przyjrzeć się wykresowi cwnd. Jeśli cwnd jest mniejsze od rwnd oraz maksymalnego okna tcp, możemy na jego podstawie dostosować wielkość bufora. Zbyt małe bufory sprawią, że wykres cwnd będzie poniżej maksymalnej przepływności sieci, a zbyt duże będą powodowały nadmierne opóźnienia. Analizując wykres nr 5 zauważyliśmy, że maksymalna wartość cwnd przed przejściem w fazę congestion avoidance wynosi od 140000 bitów do 220000 bitów. Dzieląc te wartości przez wielkość segmentu (1460 bitów), dostajemy ilość segmentów, przy której zmiana fazy następuje. Wynosi ona odpowiednio od $\frac{140000b}{1460b} \sim 110(seg)$ oraz $\frac{220000b}{1460b} \sim 150(seg)$. Wobec tego nasz bufor wynoszący 130 segmentów znajduje się dokładnie w połowie przedziału od 110 do 150 segmentów.

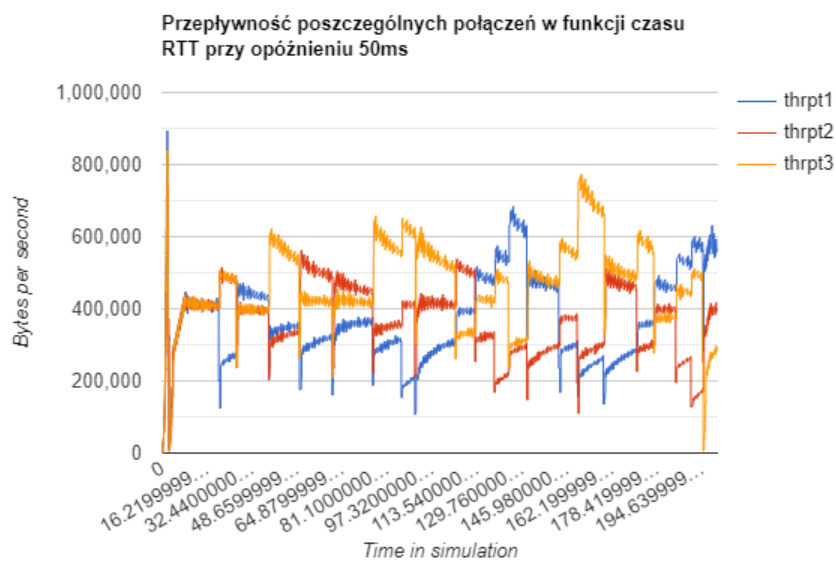
Analizując wykresy, doszliśmy do wniosku, że optymalna wielkość bufora będzie wprost proporcjonalna do opóźnienia i pojemności sieci. Wynika z tego wzór $B \sim C * RTT$, gdzie B - bufor, C - pojemność sieci, RTT - Round-trip-time.

2.3. Zadanie 3

Po ustawieniu bufora łącza na 100, przeprowadzone zostało 5 symulacji dla opóźnień kolejno: 20,50,100,150,200 ms. Przepływność poszczególnych połączeń dla każdego z opóźnień wygląda następująco:



Rys. 8: Przepływność dla opóźnienia 20ms



Rys. 9: Przepływność dla opóźnienia 50ms



Rys. 10: Przepływność dla opóźnienia 100ms



Rys. 11: Przepływność dla opóźnienia 150ms



Rys. 12: Przepływność dla opóźnienia 200ms

Po przeanalizowaniu wykresów można zauważyć, że wraz z wzrostem opóźnienia zwiększa się czas w którym przepływność utrzymuje się na mniej więcej taki samym poziomie. Algorytmy sterowania przeciążeniem TCP dostosowują szybkość przesyłania danych (tzn. rozmiar okna przesyłania) w oparciu o obserwowane warunki sieci, takie jak opóźnienie i strata pakietów. Dlatego zwiększenie opóźnienia może powodować, że TCP potrzebuje więcej czasu na "ramp up" do maksymalnej przepustowości, co też można zauważyć na wykresach. W tym czasie TCP jest mniej skuteczny w wykorzystaniu dostępnej przepustowości, co skutkuje dłuższymi okresami, kiedy przepływność jest poniżej jej potencjału.

Następnie przeprowadzone zostało 5 symulacji z opóźnieniami połączeń w proporcji 1:5:10 dla bazowych połączeń 10,20,30,40,50 ms.



Rys. 13: Przepływność dla opóźnienia bazowego 10ms



Rys. 14: Przepływność dla opóźnienia bazowego 20ms



Rys. 15: Przepływność dla opóźnienia bazowego 30ms



Rys. 16: Przepływność dla opóźnienia bazowego 40ms



Rys. 17: Przepływność dla opóźnienia bazowego 50ms

W przypadku wykresów z mniejszą różnicą opóźnień między połączeniami, jest widoczne zauważalne podobieństwo do przypadku z opóźnieniem 20ms. Wraz z coraz większą różnicą pomiędzy opóźnieniami, zwiększa się również przepływność połączenia z najmniejszym opóźnieniem w stosunku do pozostałych. Zgodnie z oczekiwaniami połączenia w których występuje mniejsze opóźnienie cechują się większą przepływnością.

3. Podsumowanie

To laboratorium umożliwiło nam zrozumienie działania protokołu TCP oraz analizę wpływu poszczególnych parametrów na jego wydajność. Przede wszystkim, badanie wyników symulacji i analiza danych pozwoliły nam na identyfikację optymalnych wartości tych parametrów, które zapewniają najlepszą wydajność protokołu. Przeprowadzenie symulacji miało kluczowe znaczenie, ponieważ umożliwiło nam zobaczenie w praktyce, jak

wprowadzane modyfikacje wpływają na sieć. Dzięki temu mogliśmy przełożyć teoretyczną wiedzę na praktyczne zrozumienie działania protokołu TCP. Laboratorium to umożliwiło nam pogłębienie naszej wiedzy na temat protokołu TCP i jego działania w różnych warunkach sieciowych. Analiza wyników i wyznaczanie optymalnych wartości parametrów pozwolą nam na osiągnięcie lepszej wydajności protokołu TCP i efektywne wykorzystanie dostępnej przepustowości sieciowej przy tworzeniu i konfigurowaniu naszych własnych sieci.