

PROJEKTOWANIE SIECI KOMPUTEROWYCH

dobry projekt sieci ...

- ... stosuje *podjęcie od góry do dołu*
- ... musi rozpoznać, czy wymagania inwestora obejmują takie *kwestie ekonomiczne i techniczne*, jak dostępność sieci, jej skalowalność, zdolność do spełniania wymagań, bezpieczeństwo i zdolność do zarządzania
- ... gwarantuje *poziom usług* wskazany przez inwestora
- ... dokonuje wyborów i realizuje kompromisy na poziomie logicznym *przed* wyborem fizycznych urządzeń i mediów transmisji

podójście do projektowania od góry do dołu ...

- ... rozpoczyna się od górnych warstw modelu odniesienia OSI, *przed* przejściem do dolnych warstw, czyli skupia się na aplikacjach, sesjach i transporcie danych, *przed* wyborem ruterów, komutatorów i mediów transmisji
- analizuje podziały i struktury grup wśród użytkowników sieci, aby znaleźć (*dotrzeć do*) ludzi, którym sieć wyświadczy określone usługi i od których można uzyskać informacje potrzebne do jej właściwego zaprojektowania
- jest *iteracyjne*, unika zbyt wczesnego „ugrzęźnięcia” w szczegółach, i po ogólnej analizie wymagań inwestora, włącza kwestie zachowania się protokołów, wymagań skalowalności, preferencji co do technologii, itp.

podjęcie do projektowania od góry do dołu ...

- dopuszcza, aby model logiczny i projekt fizyczny *podlegały zmianom*, wraz z dopływem nowych informacji od inwestora
- ... jest iteracyjne, co powoduje, że te same kwestie, np. odnośnie aplikacji i generowanego przez nie ruchu, *pojawiają się wielokrotnie*

zakres wykładu

- **Część I.**
Identyfikacja potrzeb i wymagań inwestora
- **Część II.**
Logiczny projekt sieci
- **Część III.**
Fizyczny projekt sieci
- **Część IV.**
Testowanie, optymalizacja i dokumentacja projektu sieci

zakres wykładu (1)

- **Część I.**
Identyfikacja potrzeb i wymagań inwestora
 1. Analiza ekonomicznych celów i ograniczeń firmy
 2. Analiza technicznych celów i ograniczeń firmy
 3. Charakterystyka istniejącej sieci
 4. Charakterystyka ruchu w sieci

zakres wykładu (2)

- **Część II.**
Logiczny projekt sieci
 1. Projektowanie topologii sieci
 2. Projektowanie strukturalnego modelu adresacji i nazewnictwa w sieci
 3. Wybór technik mostkowania i komutacji oraz protokołów wyboru trasy
 4. Ustalenie strategii bezpieczeństwa i zarządzania siecią

zakres wykładu (3)

- **Część III.**
Fizyczny projekt sieci
 1. Wybór technik i urządzeń w sieci lokalnej (kampusowej)
 2. Wybór technik i urządzeń w sieci rozległej (korporacyjnej)

zakres wykładu (4)

- **Część IV.**
Testowanie, optymalizacja i dokumentacja projektu sieci
 1. Testowanie projektu sieci
 2. Optymalizacja projektu sieci
 3. Dokumentacja projektu sieci

literatura do wykładu

- podstawowa (textbook):

Priscilla Oppenheimer, *Top-Down Network Design*,
Third Edition, Cisco Press 2010

projektowanie sieci komputerowych

wykład 1 – identyfikacja potrzeb i wymagań inwestora

analiza ekonomicznych celów i ograniczeń firmy

- zrozumienie ekonomicznych celów i ograniczeń inwestora (=Twojego klienta) jest *krytycznym aspektem* w projektowaniu sieci, znając je, można zaprojektować sieć, na której sfinansowanie się on zgodzi
- analiza ekonomicznych *celów* firmy
- analiza ekonomicznych *ograniczeń* firmy

analiza ekonomicznych celów firmy

- „rozpoznanie” inwestora i jego możliwości (branża, rynek, dostawcy, produkty, usługi i konkurencyjność) – możesz zwiększyć jego pozycję w branży przez odpowiedni projekt (dobór technologii itp.)
- rozpoznanie *hierarchii decyzyjnej* u inwestora
- *pierwsze spotkanie z inwestorem* (zapytaj o strukturę organizacyjną firmy – wydziały, linie ekonomiczne, dostawcy, partnerzy, zdalne biura – pozwoli to określić główne grupy odbiorców usług i przepływy ruchu)
- *praca z inwestorem* (co wg niego stanowi o sukcesie firmy, określ kryteria sukcesu)

analiza ekonomicznych celów firmy

- oceń konsekwencje przegranej (projekt „nie wyjdzie”, albo sieć nie będzie odpowiadać specyfikacji)
- na ile projekt jest czytelny dla zarządu firmy
- czy sukces albo porażka projektu zostanie zauważony przez kierowników poszczególnych działów
- do jakiego stopnia nieprzewidziane zachowanie nowej sieci utrudni operacje ekonomiczne

analiza ekonomicznych celów firmy

- zmiany w sieci przedsiębiorstwa (*enterprise network*)
- znaczenie dostępu do danych korporacji dla pracowników, klientów i partnerów jest ogólnie znane
- krytyczne dla działania firmy stają się aplikacje
- wiele firm przechodzi przez etap zmian strukturalnych, w celu redukcji kosztów, starając się zarządzać sieciami mniejszą liczbą ludzi, zmniejszając koszty łączy WAN i zwiększać produktywność ludzi
- wiele firm ulepsza łączność w firmie w celu umożliwienia wideokonferencji, nauczania zdalnego, telefonii przez Internet, oraz aktualizuje aplikacje CAM i CAD

typowe ekonomiczne cele firmy

- wzrost dochodów i zysku
- poprawa łączności wewnątrz firmy
- zmniejszenie cykli produkcyjnych
- zwiększenie wydajności pracownika
- zbudowanie partnerstwa z innymi firmami
- wejście na rynki światowe
- przejście do modelu firmy opartego na sieci globalnej
- modernizacja przestarzałych technologii

typowe ekonomiczne cele firmy

- redukcja kosztów telekomunikacyjnych i sieciowych, dużych ze względu na istnienie w firmie oddzielnych sieci dla głosu, danych i wideo
- zwiększenie ilości danych łatwo dostępnych dla pracowników – ułatwienie decyzji ekonomicznych
- wzrost bezpieczeństwa i niezawodności aplikacji i danych o znaczeniu strategicznym dla firmy
- oferta lepszej obsługi klienta
- oferta nowych usług dla klienta

identyfikacja zakresu projektu sieci

- spytaj inwestora, czy projekt obejmuje nową sieć, czy też modyfikację starej sieci
- spytaj inwestora, czy projekt obejmuje jeden segment sieci, zbiór sieci LAN, zbiór sieci WAN lub sieci o zdalnym dostępie, czy też całą sieć korporacji
- **uwaga:** projektant rzadko ma szansę projektowania sieci od zera. Zazwyczaj projekt obejmuje aktualizację istniejącej sieci. Nie jest to jednak reguła. Niektórzy doświadczeni projektanci projektowali całkowicie nową sieć nowej generacji zastępującą stare sieci. Inni projektowali sieci dla nowego budynku albo kampusu. Nawet wtedy nowa sieć musi wpasować się w istniejącą infrastrukturę, n.p. sieć w nowym kampusie musi komunikować się z istniejącą siecią WAN.

identyfikacja zakresu projektu sieci

- przy analizie zakresu projektu, odwołujemy się do 7 warstw modelu OSI, w celu specyfikacji funkcji, jakie nowa sieć powinna posiadać
- w celu identyfikacji zakresu projektu sieci, stosujemy następujące określenia:
- **segment:** pojedyncza sieć, oparta na określonym protokole warstwy drugiej, zawiera koncentratory, wzmacniaki, i jednostki dostępu MAU
- **LAN:** zbiór segmentów, połączonych mostkami albo komutatorami, oparty na określonym protokole warstwy drugiej (mieszane LAN też mogą być), mogą być z nią związane protokoły warstwy trzeciej

identyfikacja zakresu projektu sieci

- **sieć w budynku:** wiele sieci LAN wewnątrz budynku, połączonych z siecią kręgosłupową budynku
- **sieć kampusowa:** wiele budynków na lokalnym obszarze (do kilku mil), połączonych z siecią kręgosłupową kampusu
- **zdalny dostęp:** połączenia wybierane, analogowe albo cyfrowe
- **WAN:** sieć geograficznie rozproszona, zawierająca połączenia dwupunktowe, Frame Relay, ATM, i inne połączenia na duże odległości
- **sieć korporacyjna:** duża i geograficznie rozproszona sieć, zawierająca kampusy, usługi zdalnego dostępu, jedną lub więcej sieci WAN. Zwana też *intersiecią*.

identyfikacja aplikacji w sieci inwestora

- aplikacje *już istniejące* w sieci i *aplikacje nowe*
- *w tabeli* zapisuje się nazwę aplikacji (np. MS Outlook), typ (np. pocztę elektroniczną), czy nowa (np. nie), czy jest krytyczna (np. ekstremalnie, czasami, nie jest), to znaczy jakie znaczenie ma okresowy brak tej aplikacji, oraz komentarz, specyficzny dla danego projektu

analiza ekonomicznych ograniczeń firmy

- **zasada: więcej słuchaj niż mów**
- kwestie polityki prowadzonej w biurze, i kwestie personalne, i ich wpływ na projekt
- wcześniejsze nieudane projekty sieci w firmie inwestora
- sprawdź, czy Twój projekt sieci nie eliminuje jakiegoś miejsca pracy w firmie
- zbadaj tolerancję dla ryzyka i akceptację zmian w firmie
- zbadaj, czy firma nie wybrała już z góry technologii, urządzenia, dostawcy, systemu operacyjnego
- zbadaj, którzy decydenci w firmie są za zmianami, a którzy nie
- **nie ignoruj kwestii pozatechnicznych !**

analiza ekonomicznych ograniczeń firmy

- ograniczenia finansowe i osobowe
- projekt sieci musi dopasować się do budżetu inwestora: budżet ten powinien zawierać finanse na zakup sprzętu, licencje oprogramowania, konserwację, testowanie, kursy i personel
- razem z inwestorem opracuj analizę, ile funduszy przeznaczonych na nową sieć można odzyskać, tzn. jakie sumy można zaoszczędzić na wprowadzeniu sieci, albo ile można na niej zarobić? (zwrot inwestycji – Return of Investment ROI)
- opracuj harmonogram czasowy inwestycji (zastosuj dostępne narzędzia), albo uzyskaj go od inwestora

lista kontrolna celów ekonomicznych

- zbadałem branżę inwestora i jej konkurencyjność
- rozumiem strukturę korporacji inwestora
- zebrałem listę celów ekonomicznych inwestora, poczynając od ogólnego celu zasadniczego
- inwestor wskazał operacje krytyczne dla przedsiębiorstwa
- rozumiem kryteria sukcesu inwestora i akceptowalny margines niepowodzenia
- rozumiem zakres projektu sieci
- zidentyfikowałem aplikacje w sieci inwestora

lista kontrolna celów ekonomicznych

- inwestor wyjaśnił mi politykę dotyczącą dostawców, protokołów i systemów operacyjnych
- inwestor wyjaśnił mi politykę dotyczącą rozwiązań otwartych i specyficznych dla danej firmy
- inwestor wyjaśnił mi politykę dotyczącą rozproszonej odpowiedzialności za projekt i implementację sieci
- znam budżet projektu
- znam harmonogram projektu, termin zakończenia całości i kolejnych etapów i wierzę w realność tych terminów
- dobrze rozumiem specjalistyczną wiedzę techniczną moich klientów i ich personelu
- przedyskutowałem plan przeszkolenia personelu z inwestorem
- jestem świadom polityki w biurze inwestora, która może wpłynąć na projekt sieci

analiza technicznych celów i ograniczeń

- *typowe cele techniczne*
 - skalowalność
 - dostępność
 - wydajność
 - bezpieczeństwo
 - łatwość zarządzania
 - użyteczność
 - adaptowalność
 - efektywność kosztów
- *kompromisy między celami technicznymi*

skalowalność

- jak duże ewentualne powiększenie sieci zakłada projekt?
- nowi użytkownicy, aplikacje, lokalizacje i dodatkowe połączenia sieciowe
- planowanie rozbudowy (ekspansji) sieci:
 - jak wiele nowych lokalizacji będzie dodane: w następnym roku, w następnych dwóch latach
 - jak będą rozszerzane sieci w każdej lokalizacji
 - jak wielu nowych użytkowników będzie uzyska dostęp do sieci przedsiębiorstwa: w następnym roku, w następnych dwóch latach
 - jak wiele nowych serwerów będzie dodanych do sieci: w następnym roku, w następnych dwóch latach

skalowalność

- *rozszerzanie danych dostępnych dla użytkowników*
- dotychczas zasada 80/20:
80% ruchu lokalnie, 20% poza wydział
- teraz inaczej:
- *intranet*: dostęp do serwerów (centralnie zlokalizowanych) przedsiębiorstwa przez WWW
- *extranet*: wewnętrzna intersieć dostępna przez zewnętrznych kontrahentów
- inwestor musi określić, czy chce wprowadzać extranet

skalowalność

- *cel ekonomiczny rozszerzenia dostępu do danych przekłada się na cele techniczne:*
- włącz oddzielne wydzielone LAN do intersieci korporacji
- rozwiąż problemy „wąskich gardeł” spowodowane przez zwiększony ruch
- zapewnij zcentralizowane serwery na „farmach serwerów” lub w intranecie
- scal niezależne sieci SNA (z danymi finansowymi i danymi o sprzedaży firmy) z siecią IP firmy
- dodaj nowe lokalizacje dla obsługi oddziałów w terenie
- dodaj nowe lokalizacje dla wspomagania klientów, dostawców, przedstawicieli handlowych i partnerów

skalowalność

- *ograniczenia skalowalności:*
- utrudnienia wewnątrz samych technik sieciowych:
 - n.p. wybór „płaskiej” topologii dla komutatorów w warstwie 2 spowoduje problem przy wzroście użytkowników, szczególnie gdy aplikacje albo protokoły przesyłają wiele ramek rozgłaszania (broadcast), wysyłanych do wszystkich segmentów
- *skalowalność (na kolejnych wykładach):*
 - charakterystyka ruchu sieci (ruch typu broadcast)
 - protokoły wyboru trasy (projekt logiczny)
 - w urządzeniach sieciowych (projekt fizyczny)

dostępność

- *czas, w którym sieć jest dostępna dla użytkowników* - jest krytycznym celem dla inwestora (
- *procent czasu, w którym sieć jest dostępna*, n.p. dostęp przez 165 godzin, w 168 godzinnym tygodniu ($24 \times 7 = 168$), daje 98.21 procenta
- *dostępność wiąże się z* nadmiarowością, niezawodnością (dokładność, stopy błędów, stabilność, czas między awariami), zdolnością do powrotu do normalnego stanu - regeneracji (jak łatwo i w jakim czasie sieć wydobywa się z problemów), i elastycznością (odpornością na błędy), i akcją ratunkową na wypadek katastrofy (plan ratunkowy)

określenie wymagań na dostępność

- inwestor powinien określić *precyzyjnie* wymagania odnośnie dostępności
- dostępność 99.70% - *nieakceptowalna* (sieć niedostępna 30 minut na tydzień)
- dostępność 99.95% - *akceptowalna* (sieć niedostępna 5 minut na tydzień)
- nieakceptowalna dostępność 99.70% (30 minut na tydzień) może być akceptowalna przy innej jednostce czasu (10,7s na godzinę)
- nieakceptowalna dostępność 99.70% (30 minut na tydzień w środku dnia roboczego) może być akceptowalna w innym czasie, n.p. w sobotę wieczorem

koszt niedostępności sieci

- dla każdej krytycznej aplikacji udokumentuj, jak wiele pieniędzy firma straci na godzinę (albo minutę) *niedostępności sieci* (ang. *downtime*)
- aktualizacja w czasie świadczenia usług (bez przerywania pracy)

MTBF i MTTR

- MTBF - *średni czas między awariami* (*mean time between failure*), albo MTBSO - *średni czas między nieświadczeniami usługi* (*mean time between service outage*) - typowy MTBF to 4000h, czyli 166,67 dni
- MTTR - *średni czas naprawiania* (*mean time to repair*), albo MTTSR - *średni czas naprawiania usługi* (*mean time to service repair*) - typowy MTTR to 1h
- dostępność = $MTBF / (MTBF + MTTR)$
- stąd: dostępność = $4000/4001 = 99,98\%$

MTBF i MTTR

- pamiętaj, że są to wartości **średnie**
- rozpatrz zmienność tych czasów (pamiętaj, że dostawcy usług z zewnątrz są poza Twoją kontrolą)
- wymagane przez inwestora MTBF i MTTR są zależne od miejsca w sieci
- dostępność aplikacji oraz sieci jako całości
- MTBF i MTTR dla elementów sieci (koncentratorów, komutatorów i ruterów) - dane weź od producenta
- sprawdź dane podane przez producenta
- poproś dostawcę o potwierdzenie wartości MTBF i MTTR na piśmie

wydajność (1)

- uzyskaj od inwestora *akceptowalne przez niego* kryteria na:
 - **pojemność** (capacity, bandwidth) - zdolność łącza albo sieci do przenoszenia danych, zwykle mierzona w bitach na sekundę
 - **wykorzystanie pojemności** (utilization) - procentowy udział w wykorzystaniu całkowitej dostępnej pojemności
 - **optymalne wykorzystanie pojemności** (optimum utilization) - maksymalne średnie wykorzystanie sieci przed uznaniem sieci za nasyconą
 - **przepustowość** (throughput) - ilość danych przesłanych bez błędów pomiędzy węzłami na jednostkę czasu (na sekundę)
 - **obciążenie sieci** (offered load) - suma wszystkich danych, jakie wszystkie węzły są gotowe nadać w danym czasie

wydajność (2)

- uzyskaj od inwestora *akceptowalne przez niego* kryteria na:
 - **dokładność** (accuracy) - wielkość użytecznego ruchu, który jest poprawnie przesłany, względem ruchu całkowitego
 - **efektywność** (efficiency) - pomiar, jak wielki wysiłek jest wymagany do wytworzenia pewnej wielkości przepustowości
 - **opóźnienie** (delay, latency) - czas od momentu, gdy ramka w węźle jest gotowa do nadania, do momentu dostarczenia jej dokądkolwiek w sieci
 - **zmiennność opóźnienia** (delay variation) - średnia ilość czasu o jaką zmienia się opóźnienie
 - **czas odpowiedzi** (response time) - czas między żądaniem jakiejś usługi sieciowej, a odpowiedzią na to żądanie

optymalne wykorzystanie pojemności sieci

- wykorzystanie sieci jest mierzone wielkością wykorzystywanej szerokości pasma w danym okresie czasu
- n.p. narzędzie monitorowania sieci może określić, że wykorzystanie segmentu Ethernetu wynosi 30%
- wielkość ta może być mierzona co jakąś stałą jednostkę czasu (ms, s, minutę, godzinę)
- dla klasycznego (współdzielonego) Ethernetu, średnie wykorzystanie nie powinno przekraczać 37%, wg IEEE, wtedy ilość kolizji jest akceptowalna

optymalne wykorzystanie pojemności sieci

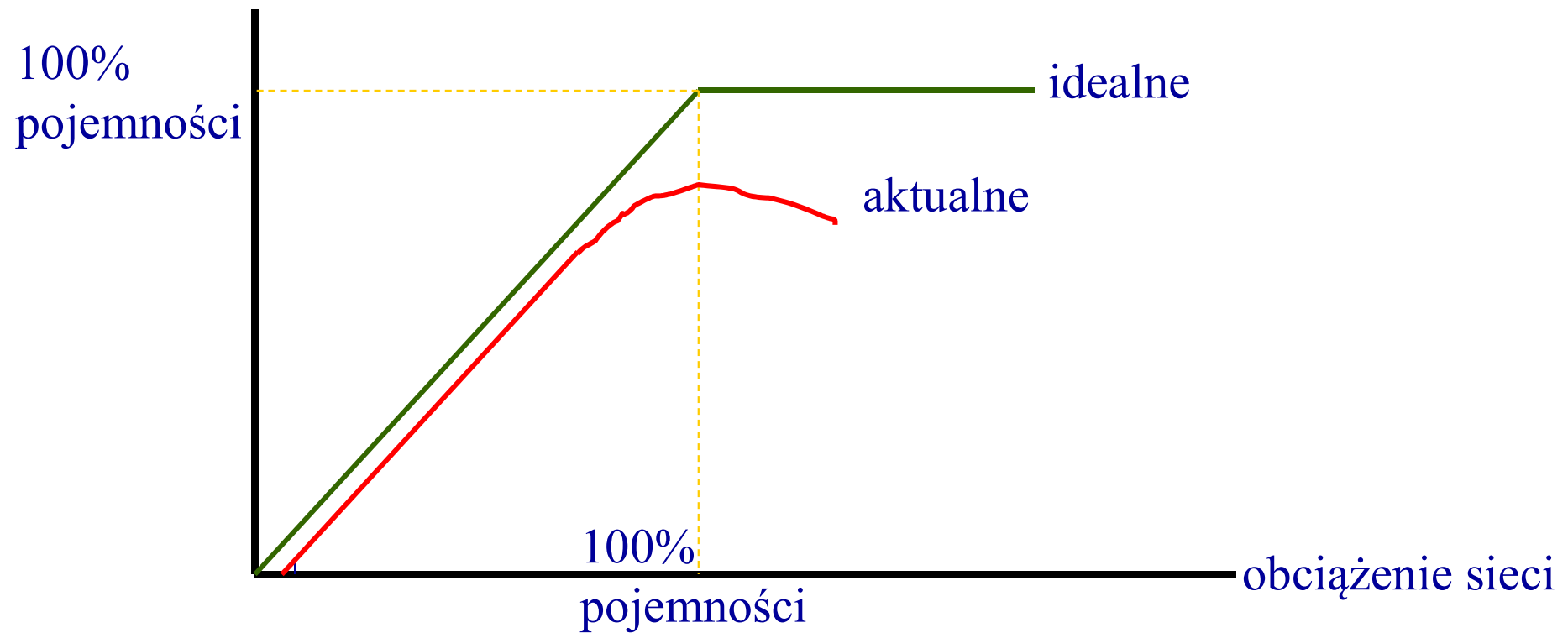
- Ethernet jest gorszy od pierścienia ze znacznikiem przy wykorzystaniu 37% dla 50 stacji i przy wykorzystaniu 49% dla 100 stacji
- w Ethernecie, przy dwóch stacjach, kliencie nadającym do serwera, i serwerze odpowiadającym, kolizji nie ma, wykorzystanie 100%
- w pierścieniu ze znacznikiem optymalne wykorzystanie to 70%
- w sieci rozległej optymalne wykorzystanie to 70%

przepustowość

- ilość danych przesłanych bez błędu na jednostkę czasu, dotyczy połączenia, sesji
- czasami podaje się całkowitą przepustowość sieci
- w idealnym przypadku, przepustowość = pojemność
- pojemność zależy od technologii w warstwie fizycznej
- pojemność sieci powinna obsługiwać obciążenie sieci, nawet gdy pojawią się „piki” w ruchu
- teoretycznie, gdy rośnie obciążenie sieci, wzrasta przepustowość, aż do maksimum pełnej pojemności sieci
- przepustowość sieci zależy od metody dostępu, aktualnego obciążenia sieci i stopy błędów

przepustowość a obciążenie sieci

- przepustowość



przepustowość urządzeń sieciowych

- część inwestorów określa wymaganą przepustowość urządzeń sieciowych w pakietach na sekundę (pps) – PPS, lub komórkach na sekundę (cps) - CPS
- przepustowość urządzenia sieciowego to maksymalna szybkość z jaką urządzenie może przekazywać pakiety bez ich wyrzucania
- większość dostawców publikuje wyniki testów dotyczących przepustowości ich urządzeń (pps), testowanych między generatorem i rejestratorem ruchu
- wiele urządzeń ma przepustowość równą teoretycznemu maksimum, zwanemu „wire speed”, t.j. szerokość pasma/rozmiar pakietu

przepustowość warstwy aplikacji

- „goodput” vs „throughput”
- goodput – przepustowość danych aplikacji
pomiar danych aplikacji pomyślnie przesłanych od nadawcy do odbiorcy, na jednostkę czasu, kb/s, Mb/s
- można zwiększyć przepustowość, ale nie „goodput”,
ponieważ dodatkowe dane to narzut albo retransmisje

czynniki ograniczające przepustowość warstwy aplikacji

- wyjaśnij inwestorowi następujące czynniki:
- stopa błędów protokołów końcowych
- niektóre funkcje protokołu: nawiązywanie połączenia, okna, potwierdzenia
- niektóre parametry protokołu: rozmiar ramki, czasy oczekiwania (na retransmisję)
- szybkości PPS I CPS urządzeń sieciowych
- stracone pakiety albo ramki w urządzeniach sieciowych

czynniki ograniczające przepustowość warstwy aplikacji

- czynniki wpływające na wydajność stacji roboczej albo serwera (przedyskutuj z inwestorem):
- prędkość dostępu do dysku
- rozmiar buforowania dla dysku
- wydajność sterowników urządzeń
- wydajność szyny we/wy komputera
- wydajność procesora
- czas dostępu do pamięci rzeczywistej i wirtualnej
- niewydolność systemu operacyjnego
- niewydolność albo błędy aplikacji

dokładność

- **cel ogólny:**
- dane odebrane przez odbiorcę muszą być takie same, jak dane nadane przez nadawcę
- **przyczyny błędów:**
- **błędy w warstwie fizycznej:** skoki zasilania, niedobrane impedancje, połączenia fizyczne złej jakości, uszkodzone urządzenia, zakłócenia od urządzeń elektrycznych
- **błędy oprogramowania** (mniejsze znaczenie)

dokładność

- dla łączy WAN:
- próg stopy błędów (BER)
- gdy ilość błędów przekracza próg BER, dokładność uważa się za nieakceptowalną
- łącza analogowe: BER 10^{-5}
- łącza cyfrowe: miedziane 10^{-6} , światłowodowe 10^{-11}
- dla łączy LAN:
- nie ma BER, ilość błędnych ramek na wszystkie przesłane, jedna na 10^6 ramek

dokładność

- w Ethernetie:
- kolizje: mniej niż 0,1 % ramek uznane za legalne kolizje (kolizje poza preambułą)
- spóźnione kolizje, poza 64 bajtami, dla zbyt dużych sieci, stacje się nie słyszą w wyznaczonym czasie
- w pierścieniu ze znacznikiem:
- redukcja raportów o błędach

efektywność

- jak wielki narzut jest wymagany aby uzyskać określony cel
- pomaga określić wydajność sieci: n.p. współdzielony Ethernet jest nieefektywny, gdy liczba kolizji jest duża
- duży nagłówek w stosunku do danych w ramce jest nieefektywny

opóźnienie i zmienność opóźnienia

- minimalne opóźnienie w aplikacjach interakcyjnych
- stała zmienność opóźnienia (fluktuacja opóźnienia) istotna w odtwarzaniu dźwięku i video
- przyczyny opóźnienia:
- **propagacja sygnału** (odległość/prędkość światła)
- 3×10^8 m/s próżnia, $2,3 \times 10^8$ m/s miedz, 2×10^8 m/s światłowód
- opóźnienie łączności satelitarnej (270ms, orbita 36000km), naziemnej 1ms na km

opóźnienie

- *opóźnienie* = opóźnienie propagacji + czas transmisji + czas kolejkowania
- opóźnienie propagacji dotyczy *czasu*, w jakim pojedynczy bit *przemieszcza się z jednego końca sieci na drugi*
- *opóźnienie propagacji* = odległość/prędkość światła*
- * w kablu miedzianym $2,3 \cdot 10^8$ m/s
- * w światłowodzie $2,0 \cdot 10^8$ m/s
- * w próżni $3,0 \cdot 10^8$ m/s
- *czas podróży w obie strony* (*round_trip time*, RTT)
- *czas transmisji* = rozmiar/szerokość pasma

opóźnienie i zmienność opóźnienia

- **czas transmisji** (czas umieszczenia danych w łączy)
- pakiet 1024 B w łączy 1.544 Mb/s to 5ms
- opóźnienie komutacji pakietu - 10 do 50 μ s
- **opóźnienie kolejkowania** (przykład):
- komutator ma 5 użytkowników, 10 pakietów/s, rozmiar 1024 bity, łączy WAN 56kb/s
- obciążenie = $5 \times 10 \times 1024 = 51\,200$ b/s
- wykorzystanie = $51200/56000 = 91,4\%$
- średnia liczba pakietów w kolejce = $(0,914)/(1 - 0,914) = 10,63$ pakiety
- alternatywy: zwiększ szerokość pasma, optymalizuj algorytm kolejkowania

zmienność opóźnienia

- **fluktuacja opóźnienia** (jitter)
- przeciwdziałanie: bufor w odbiorniku dla aplikacji wideo
- przeciwdziałanie: komutacja komórek (**ATM**)
- specyfikacja dla każdej sesji:
- **MCTD**: maximum cell transfer delay
- **MCDV**: cell delay variation

czas odpowiedzi

- użytkownik zaczyna się denerwować, gdy czas odpowiedzi jest $> 100\text{ms}$, n.p. czeka na wyświetlenie się strony www
- wartość 100ms jest domyślną wartością czasu oczekiwania w protokole TCP
- czas odpowiedzi 100ms dla aplikacji interakcyjnych
- na ściąganie pliku użytkownik jest w stanie czekać dłużej, do 20s, a nawet dłużej dla większych plików

bezpieczeństwo

- **planowanie** - analiza ryzyka i podanie wymagań
- **analiza ryzyka** - jakie są koszty zdobycia danych poufnych przez osoby nieupoważnione?
- **hackerzy**: wykorzystują zasoby do których nie mają upoważnienia, nie pozwalają na dostęp osobom upoważnionym, zmieniają, kradną i niszczą zasoby, wykorzystują dobrze znane dziury w systemach operacyjnych, wykorzystują aktualizacje systemów
- **osoby wewnątrz firmy**, działające na jej szkodę
- **wymagania bezpieczeństwa** (kto ma mieć dostęp)

łatwość zarządzania

- aby pomóc inwestorowi w określeniu wymagań, skorzystaj z terminologii ISO:
- zarządzanie wydajnością
- zarządzanie awariami
- zarządzanie konfiguracją
- zarządzanie bezpieczeństwem
- zarządzanie rozliczaniem
- generalnie: ułatwienie pracy administratorowi sieci

użyteczność

- łatwość dostępu do sieci i do usług przez nią świadczonych
- generalnie: ułatwienie pracy użytkownikowi sieci
- zrozum, jak użyteczność jest ważna dla inwestora
- rygorystyczne wymagania bezpieczeństwa mają negatywny wpływ na użyteczność
- automatyzacja pewnych funkcji: dynamiczna przydział adresów IP, protokół DHCP

adaptowalność

- przystosowalność do nowych technik i zmian, dotyczących protokołów, celów fiskalnych, prawa itp.
- np. redukcja osób przyjeżdżających do pracy ze względu na ochronę środowiska - zwiększenie linii zdalnego dostępu (do pracy w domu)
- adaptowalność sieci do zmian pogody (lato, zima)
- adaptowalność urządzeń sieciowych do powstałych problemów i aktualizacji (jak szybko i kiedy przenieść ruch na inny komutator albo ruter?)

efektywność kosztów

- również cel ekonomiczny - przenieść maksymalny ruch określonym kosztem
- niski koszt - w sieciach lokalnych, dostępność - w sieciach rozległych (przedsiębiorstwa)
- środki do osiągnięcia efektywności kosztów:
 - protokoły wyboru trasy do minimalizacji ruchu
 - protokoły wyboru trasy do wyboru tras
 - konsoliduj łącza dla wielu usług
 - dynamicznie przydzielaj szerokość pasma WAN
 - stosuj kompresję danych
 - eliminuj niewykorzystane łącza
 - stosuj techniki „oversubscription”
 - zredukuj koszty osobowe i administracyjne (rutery łatwe w obsłudze)

kompromisy w projekcie

- nadmiarowość zwiększa koszt
- wzrost efektywności kosztów zmniejsza dostępność
- ścisłe reguły bezpieczeństwa zwiększają koszt
- skalowalność zmniejsza dostępność (więcej użytkowników)
- redukcja personelu wymaga outsourcing'u - wzrost kosztów
- poproś inwestora, aby nadał priorytety swoim celom
- n.p. skalowalność 20, dostępność 30, wydajność 15, efektywność kosztów 15, itp., razem 100