



دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)  
دانشکده مهندسی کامپیوتر

درس شبکه‌های کامپیوتری، نیم سال دوم سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

پایخ تمرین سری چهارم



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

### پاسخ سوال ۱:

وظیفه لایه انتقال، انتقال پیام‌های لایه کاربرد از برنامه کاربردی مبدأ به برنامه کاربردی مقصد است. لایه انتقال پیام کاربر را به یک یا چند سگمنت تقسیم کرده و هر سگمنت را در گره (میزبان) مبدأ به لایه شبکه تحویل می‌دهد و لایه شبکه آن سگمنت را در گره (میزبان) مقصد به لایه انتقال تحویل می‌دهد. اگر لایه شبکه نتواند پهنای و تأخیر را برای ارسال هر سگمنت تضمین نماید، لایه انتقال نیز قادر به تضمین پهنای باند و تأخیر برای پیام نخواهد بود.

### پاسخ سوال ۲:

پروتکل IP، UDP و TCP با دریافت بسته دارای خطای Checksum، فقط تشخیص می‌دهند که بسته دریافتی دارای خطا است ولی نمی‌توانند تشخیص دهند که کدام یک از فیلدهای اطلاعاتی سرآیند دارای خطا است، در نتیجه قادر به پردازش بسته دارای خطا برای انجام وظایف نخواهند بود و مجبور هستند که بسته دارای خطا را دور بریزند. پروتکل TCP با تشخیص از بین رفتن بسته (Packet Loss) از طریق مکانیزم Timeout یا دریافت سه ACK تکراری، بسته از بین رفته را مجدداً ارسال می‌کند. در مورد UDP اگر لایه کاربرد تحمل‌پذیری خطا (Data Loss) را نداشته باشد، خود لایه کاربرد می‌بایست با استفاده از یک روش کنترل خطا، تصحیح خطا را انجام دهد.

### پاسخ سوال ۳:

اگر کلاینت و سرور از هم دور باشند یعنی تأخیر رفت و برگشت (RTT) بین آن‌ها زیاد است. از آنجایی که پروتکل TCP یک پروتکل اتصال‌گرا است، در این حالت، ایجاد اتصال با تأخیر زیاد انجام می‌شود. اما مسئله مهم‌تر وجود مکانیزم‌های کنترل خطا، کنترل جریان و کنترل ازدحام در پروتکل TCP است که همگی وابسته به تنظیم اندازه پنجره در یک زمان رفت و برگشت هستند و با افزایش تأخیر رفت و برگشت کارایی آن‌ها کاهش پیدا می‌کند. بنابراین با افزایش تأخیر رفت و برگشت، میزان استفاده مفید از پهنای باند کاهش پیدا کرده و به تبع سرعت ارسال مؤثر نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه در شرایطی که تأخیر رفت و برگشت زیاد است، UDP تأخیر اولیه کمتر و نرخ ارسال بیشتری نسبت به TCP خواهد داشت.

به همین دلیل در کاربردهای با اندازه پیام‌های کوتاه نظیر DNS از UDP استفاده می‌شود و کنترل خطا توسط خود لایه کاربرد (DNS) انجام می‌شود. همچنین در کاربردهای چندرسانه‌ای (ارسال صوت، ویدئو و ...) نظیر پروتکل RTP که تا اندازه‌ای می‌توانند از بین رفتن داده‌ها (Data Loss) را تحمل کنند، برای رسیدن به نرخ ارسال بیشتر از UDP استفاده می‌شود.

### پاسخ سوال ۴:

User Message Length:  $L$  (Byte)

UDP Segment Length:  $L + (\text{UDP Header Length}) = L + 8$  (Byte)

IP Packet Length:  $(\text{UDP Segment Length}) + (\text{IP Header Length}) = (L + 8) + 20 = L + 28$  (Byte)

Ethernet Frame Length:  $(\text{IP Packet Length}) + (\text{Ethernet Overhead}) = (L + 28) + 18 = L + 46$  (Byte)

$$\text{Channel Utilization} = \frac{\text{User Message Length}}{\text{Ethernet Frame Length}} = \frac{L}{L + 46}$$

Item	User Message Length	Channel Utilization
1	50	52.08 %
2	100	68.49 %
3	500	91.58 %

همانطور که قابل مشاهده است، با افزایش اندازه پیام، بهره‌وری (استفاده مفید از) کانال فیزیکی نیز افزایش می‌یابد.



## پاسخ سوال ۵:

(الف)

همه روش‌های تشخیص خطا با استفاده از بیت‌های چک‌کننده نظیر Checksum یک قدرت تشخیص دارند. در صورت یکسان بودن Checksum محاسبه شده توسط گیرنده و مقدار فیلد Checksum در بسته دریافتی، گیرنده فقط و فقط می‌تواند نتیجه بگیرد که خطایی تشخیص داده نشده است (یعنی احتمال دارد خطاهایی همزمان بر روی بیت‌های ارسالی اتفاق افتاده که نتیجه حاصل جمع را تغییر نداده است). اگر Checksum خطایی را تشخیص ندهد، با توجه به اینکه احتمال وقوع خطاهای همزمان روی بیت‌های ارسالی که توسط Checksum قابل تشخیص نیستند بسیار ناچیز است، گیرنده از آن صرف‌نظر کرده و فرض را بر عدم وقوع خطا می‌گذارد.

(ب)

روش محاسبه IP Checksum به شرح زیر است:

۱- جمع اعداد ۱۶ بیتی به روش carry bit wrap around برای اطمینان از اینکه نتیجه حاصل جمع همواره ۱۶ بیتی است.

۲- مکمل یک کردن نتیجه حاصل جمع نهایی (معکوس کردن بیت‌ها)

برای اعداد:  $b_1 = 0x1105$  و  $b_2 = 0x0209$ 

	Binary	Hex
$b_1$	0001000100000101	1105
$b_2$	00000001000001001	0209
$X_1$	0001001100001110	130E
$S_1$	0001001100000111	130E
Checksum	1110110011110001	ECF1

برای اعداد:  $b_1 = 0x1034$ ,  $b_2 = 0x2A22$ ,  $b_3 = 0x3425$  و  $b_4 = 0xFF37$ 

	Binary	Hex
$b_1$	0001000000110100	1034
$b_2$	0010101000100010	2A22
$X_1$	0011101001010110	3A56
$S_1$	0011101001010110	3A56
$b_3$	0011010000100101	3425
$X_2$	0110111001111011	6E7B
$S_2$	0110111001111011	6E7B
$b_4$	1111111100110111	FF37
$X_3$	0110110110110010	6DB2
$S_3$	0110110110110011	6DB3
Checksum	1001001001001100	924C



## پاسخ سوال ۶:

$$P_F = 0$$

$$R = 64 \text{ Kbps} = 64 \times 10^3 \text{ bps}$$

$$L = 160 \text{ Bytes} = 160 \times 8 = 1280 \text{ bits}$$

$$H = 16 \text{ Bytes} = 128 \text{ bits}$$

$$A = 16 \text{ Bytes} = 128 \text{ bits}$$

$$n = 3$$

$$t_{prop} = 241 \text{ msec}$$

$$t_t = \frac{L}{R} = \frac{1280}{64 \times 10^3} = 20 \text{ msec}$$

$$t_a = \frac{A}{R} = \frac{128}{64 \times 10^3} = 2 \text{ msec}$$

برای پروتکل Go-Back-N:

اندازه پنجره بهینه:

$$W_S^* = \left\lceil \frac{2t_{prop} + t_t + t_a}{t_t} \right\rceil = \left\lceil \frac{2 \times 241 + 20 + 2}{20} \right\rceil = \left\lceil \frac{504}{20} \right\rceil = 26$$

از طرفی:

$$n = 3 \Rightarrow W_S = 2^n - 1 = 2^3 - 1 = 7$$

چون  $W_S < W_S^*$  است (پنجره ارسال به اندازه کافی بزرگ نیست). بنابراین برای محاسبه بهره‌وری پروتکل GBN از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$U_{GBN} = \frac{W_S}{W_S^*} \times \left[ \frac{1 - \frac{H}{L}}{1 + (W_S^* - 1) \times P_F} \times (1 - P_F) \right] = \frac{7}{26} \times \left[ \frac{1 - \frac{128}{1280}}{1 + (26 - 1) \times 0} \times (1 - 0) \right] = 0.2692 \times \frac{0.9}{1} \times 1$$

$$U_{GBN} = 0.2423 = 24.23\%$$

برای پروتکل Selective Repeat:

$$n = 3 \Rightarrow W_S = 2^{n-1} = 2^2 = 4$$

چون  $W_S < W_S^*$  است (پنجره ارسال به اندازه کافی بزرگ نیست). بنابراین برای محاسبه بهره‌وری پروتکل SR از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$U_{SR} = \frac{W_S}{W_S^*} \times \left( 1 - \frac{H}{L} \right) \times (1 - P_F) = \frac{4}{26} \times \left( 1 - \frac{128}{1280} \right) \times (1 - 0) = 0.1538 \times 0.9 \times 1$$

$$U_{SR} = 0.1385 = 13.85\%$$



پاسخ سوال ۷:

	Satellite Link	Telephone Line
Link Length	$d_{SAT} = 30000 \text{ Km} = 30 \times 10^6 \text{ m}$	$d_{TEL} = 90 \text{ Km} = 90 \times 10^3 \text{ m}$
Propagation Speed	$V_{SAT} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$	$V_{TEL} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$
Propagation Delay	$t_{Prop}^{SAT} = \frac{d_{SAT}}{V_{SAT}} = \frac{30 \times 10^6}{2 \times 10^8} = 0.15 \text{ sec}$	$t_{Prop}^{TEL} = \frac{d_{TEL}}{V_{TEL}} = \frac{90 \times 10^3}{2 \times 10^8} = 0.45 \times 10^{-3} \text{ sec}$
Data Rate	$R_{SAT} = 20 \text{ kbps}$	$R_{TEL} = 10 \text{ kbps}$
Transmission Delay	$t_t^{SAT} = \frac{L}{R_{SAT}} = 5 \times 10^{-5} \times L$	$t_t^{TEL} = \frac{L}{R_{TEL}} = 1 \times 10^{-4} \times L$
Delay-Bandwidth Product	$a_{SAT} = \frac{t_{Prop}^{SAT}}{t_t^{SAT}} = \frac{0.15}{5 \times 10^{-5} \times L} = \frac{3000}{L}$	$a_{SAT} = \frac{t_{Prop}^{TEL}}{t_t^{TEL}} = \frac{0.45 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-4} \times L} = \frac{4.5}{L}$
Utilization	$U_{S\&W}^{SAT} = \frac{1}{1 + 2a_{SAT}} = \frac{1}{1 + \frac{6000}{L}} = \frac{L}{L + 6000}$	$U_{S\&W}^{TEL} = \frac{R_{eff}^{TEL}}{R_{TEL}} = \frac{1}{1 + 2a_{TEL}} = \frac{1}{1 + \frac{9}{L}} = \frac{L}{L + 9}$
Effective Throughput	$R_{eff}^{SAT} = U_{S\&W}^{SAT} \times R_{SAT}$ $= \left( \frac{L}{L + 6000} \right) \times 20 \times 10^3$ $= \frac{20000L}{L + 6000}$	$R_{eff}^{TEL} = U_{S\&W}^{TEL} \times R_{TEL}$ $= \left( \frac{L}{L + 9} \right) \times 10 \times 10^3$ $= \frac{10000L}{L + 9}$

$$R_{eff}^{SAT} = R_{eff}^{TEL}$$

$$\frac{20000L}{L + 6000} = \frac{10000L}{L + 9}$$

$$\frac{2}{L + 6000} = \frac{1}{L + 9}$$

$$L = 5982 \text{ bit}$$

پاسخ سوال ۸:

$$d = 1200 \text{ Km}$$

$$V = 20000 \text{ Km/s}$$

$$R = 1 \text{ Mbps}$$

$$P_F = 40\% = 0.4$$

$$L = 5000 \text{ bits}$$

$$H \approx 0$$

$$R_{eff} = 20 \text{ Packets/sec} = 20 \times 5000 = 100 \text{ Kbps}$$

$$t_{RTT} = 2t_{prop} = 2 \times \frac{1200}{20000} = 2 \times 0.06 = 120 \text{ msec}$$

$$t_t = \frac{L}{R} = \frac{5000}{1 \times 10^6} = 5 \text{ msec}$$

پنجره ارسال بهینه:

$$W_s^* = \frac{t_t + t_{RTT}}{t_t} = \frac{5 + 120}{5} = \frac{125}{5} = 25$$

و بهره‌وری:

$$Utilization = \frac{R_{eff}}{R} = \frac{100 \times 10^3}{1 \times 10^6} = 0.1 = 10\%$$

برای Go-Back-N:

$$U_{GBN} = 0.1$$

$$U_{GBN} = \frac{W_s}{W_s^*} \times \left[ \frac{1 - \frac{H}{L}}{1 + (W_s^* - 1) \cdot P_F} \times (1 - P_F) \right] = \frac{W_s}{25} \times \left[ \frac{1}{1 + (25 - 1) \times 0.4} \times (1 - 0.4) \right] = \frac{W_s}{25} \times \left[ \frac{1}{10.6} \times 0.6 \right]$$

$$= W_s \times 0.0022641509$$

$$\Rightarrow W_s = \left\lceil \frac{0.1}{0.0022641509} \right\rceil = 45$$

با توجه به اینکه باید  $W_s < W_s^*$  است، بنابر این، تحت هیچ شرایطی پروتکل Go-Back-N نمی‌تواند به گذردهی ۲۰ بسته بر ثانیه برسد.

برای Selective Repeat:

$$U_{SR} = 0.1$$

$$U_{SR} = \frac{W_s}{W_s^*} \times \left[ \left(1 - \frac{H}{L}\right) \times (1 - P_F) \right] = \frac{W_s}{W_s^*} \times [(1 - P_F)] = W_s \times 0.0024896266$$

$$\Rightarrow W_s = \left\lceil \frac{0.1}{0.0024} \right\rceil = 5 \Rightarrow \text{Buffer Size} = 5 \times 5000 = 25000 \text{ bits} = 3125 \text{ Bytes}$$

پاسخ سوال ۹:

لایه انتقال با استفاده از روش مالتی‌پلکسینگ و دی‌مالتی‌پلکسینگ امکان استفاده همزمان از سرویس انتقال پیام لایه انتقال را برای همه برنامه‌های کاربردی (نرم‌افزارها) فراهم می‌کند. همچنین اگر یک یا چند برنامه کاربردی نرخ ارسال بالایی داشته باشند که منجر به ازدحام در شبکه شود. لایه انتقال با استفاده از روش کنترل ازدحام با محدود کردن نرخ ارسال آن برنامه‌های کاربردی ازدحام در شبکه را کنترل می‌کند. لایه انتقال، همچنین با استفاده از روش کنترل خطا، بسته‌های گم شده (Lost) را با ارسال مجدد بازیابی می‌کند.