

Formelsammlung zu Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (GRNVS IN0010)
SS2018, Seite 1/2, Version: 2018-06-11

Ethernet / IEEE 802.3 Header und Ethertypes

0 B	Destination Address																												
4 B	Source Address																												
8 B	Ethertype																												
IEEE 802.3 Header																													
Ethertype	Keyword	Protocol																											
0x0800	IPv4	Internet Protocol, Version 4																											
0x0806	ARP	Address Resolution Protocol																											
0x0842	WoL	Wake-on-LAN Magic Packet																											
0x8035	RARP	Reverse Address Resolution Protocol																											
0x814c	SNMP	Simple Network Management Protocol																											
0x86dd	IPv6	Internet Protocol, Version 6																											

IPv4/6 Header und IP Protocol Numbers bzw. Next Header

0 B	Version																												
4 B	IHL																												
8 B	Identification																												
12 B	TTL																												
16 B	Source Address																												
20 B	Destination Address																												
0 B	Options / Padding (optional)																												
0 B	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	IPv4 Header																											
0 B	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	IPv6 Header																											
0 B	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	IPv6 Fragmentation Header																											
No / NH	Protocol																												
0x01	ICMPv4 (Internet Control Management)																												
0x06	TCP (Transmission Control)																												
0x11	UDP (User Datagram)																												
0x2c	Fragment Header																												
0 B	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	No / NH																											
0 B	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	Protocol																											

ARP

0 B	Hardware Type: 0x0001 (Ethernet)																												
4 B	Hardware Addr. Length																												
8 B	Protocol Type: 0x0800 (IPv4)																												
12 B	Operation																												
16 B	Sender Hardware Address																												
20 B	Sender Protocol Address (continued)																												
24 B	Target Hardware Address																												
28 B	Target Protocol Address																												

ARP Packet Format

0 B	Type	
-----	------	--

Physikalische Schicht

Physikalische Konstanten/Zusammenhänge:

$$\begin{aligned} \text{Lichtgeschwindigkeit: } c_0 &\approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ \text{Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Kupfer / Glas: } \nu &\approx 2/3 \\ \text{Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Vakuum / Luft: } \nu &\approx 1 \\ \text{Wellenlänge im Medium: } \lambda &= c/f \end{aligned}$$

Informationsgehalt und Entropie:

Gedächtnislose Quelle emittiert Zeichen $x \in \mathcal{X}$, ausgedrückt durch ZV X:

$$\begin{aligned} \text{Informationsgehalt von } x \in \mathcal{X}: \quad I(x) &= -\log_2(\Pr[X = x]) \\ \text{Entropie der Quelle: } H(X) &= -\sum_{x \in \mathcal{X}} \Pr[X = x] \log_2(\Pr[X = x]) \end{aligned}$$

Fourierreihe:

Kreisfrequenz $\omega = 2\pi/T$

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t) \text{ mit } a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(k\omega t) dt, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(k\omega t) dt.$$

Fouriertransformation: $s(t) \mapsto S(f)$

$$S(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) (\cos(2\pi ft) - j\sin(2\pi ft)) dt \quad (j \text{ bezeichnet die imaginäre Einheit})$$

Abtastung, Quantisierung und Rekonstruktion:

Abtasttheorem (Nyquist): $f_N = 2B$ (B ist die einseitige Grenzfrequenz im Basisband)

Abgetastetes Signal: $\hat{s}(t) = s(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[t - nT_a]$, mit $\delta[t - nT_a] = \begin{cases} 1 & \text{für } t = nT_a \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Abtastwerte: $\hat{s}[n] = s(nT_a)$

Stufenbreite: $\Delta = \frac{b-a}{M}$, mit $M = 2^N$ Stufen bei N bit Genauigkeit

Quantisierungsstufen: $Q = \{a + \Delta/2, a + \Delta(1+1/2), \dots, a + \Delta(M-1+1/2)\}$

$$\mathbb{R} \rightarrow Q, \hat{s}[n] \mapsto \tilde{s}[n] \text{ (Runden)}$$

Quantisiertes Signal: $\tilde{s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{s}[n] \cdot \text{rect}(t - nT_a), \text{ rect}(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } -T_a/2 \leq t \leq T_a/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Quantisierungsfehler: $q_e(t) = s(t) - \tilde{s}(t) \leq \Delta/2$, wenn $a \leq t \leq b$

Rekonstruktion: $s(t) \approx \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{s}[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - nT_a}{T_a}\right), \text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$

Kanalbandbreite: C_{\max} ist eine obere Schranke für die erzielbare Netto-Datenrate in bit/s, d. h. Übertragung redundanzfreier Daten. Dazu kann es notwendig sein, Redundanz hinzuzufügen (Kanalcodierung), was jedoch am Informationsgehalt der Nachricht nichts ändert.

Hartley: $C_H = 2B \log_2(M)$

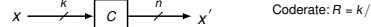
Shannon/Hartley: $C_S = B \log_2(1 + \text{SNR})$

Signal-to-Noise Ratio: $\text{SNR} = \frac{P_S}{P_N} = \frac{\text{Signalleistung}}{\text{Rauschleistung}}$

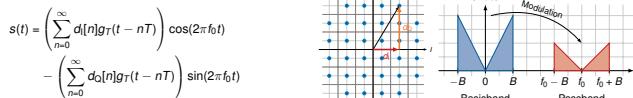
Signal-to-Noise Ratio dB: $\text{SNR dB} = 10 \log_{10}(\text{SNR})$

Obere Schranke: $C_{\max} \leq \min\{C_H, C_S\}$

Kanalcodierung: Beispiel Blockcodes: Block der Länge k wird n bit lange Kanalwörter abgebildet ($n > k$). Pro Kanalwort können dafür (je nach Code) $m < n - k$ bit korrigiert werden.



Modulation:



Sicherungsschicht und Graphen

Serialisierungszeit, Ausbreitungsverzögerung, Übertragungszeit, Bandbreitenverzögerungsprodukt:

Serialisierungszeit: $t_s = L/r$

Ausbreitungsverzögerung: $t_p = d/(\nu c)$

Übertragungszeit: $t_d = t_s + t_p$

Bandbreitenverzögerungsprodukt: $C = t_p r$

Cyclic Redundancy Check (CRC):

Addition = XOR

Checksumme: $c(x) = m(x)x^n \bmod r(x)$, mit $n = \text{grad } r(x)$

Gesendete Nachricht: $s(x) = m(x)x^n + c(x)$

Überprüfung: $c'(x) = (s(x) + e(x)) \bmod r(x)$, mit Fehlermuster $e(x)$

Adjazenz- und Distanzmatrix:

Adjazenzmatrix: $A = (a)_{ij} = \begin{cases} 1 & \exists(i,j) \in A \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Distanzmatrix: $D = (d)_{ij} = \begin{cases} c_{ij} & \exists(i,j) \in A \\ \infty & \text{sonst} \end{cases}$

min-plus-Produkt: $D^0 = D^{n-1} \otimes D$, mit $d_{ij}^0 = \min_{k \in N} \{d_{ik}^{n-1} + d_{kj}\}, n \geq 1$

Vermittelungsschicht

Vermittelungssarten: Übertragungszeit einer Nachricht der Länge der L über n Zwischenstationen mit jeweils identischer Datenrate r über die Gesamtstrecke:

Leitungsvermittlung: $T_{LV} = t_s + 4t_p = \frac{L}{r} + \frac{4d}{\nu c}$

Nachrichtenvermittlung: $T_{NV} = (n+1)t_s + t_p = (n+1) \frac{L_H + L}{r} + \frac{d}{\nu c}, L_H = \text{Länge des Nachrichtenheaders}$

Packetvermittlung: $T_{PV} = \frac{1}{r} \left(\frac{L}{p_{\max}} \right) L_H + L + n(L_h + p_{\max}) + \frac{d}{\nu c}, L_h = \text{Länge der Paketheder}$

Round Trip Time (RTT): RTT zwischen den Knoten $s, t \in N$ über den Pfad $\mathcal{P} = \{(s, 1), (1, 2), \dots, (n, t)\}$ und den i. A. nicht symmetrischen Rückweg \mathcal{P}' :

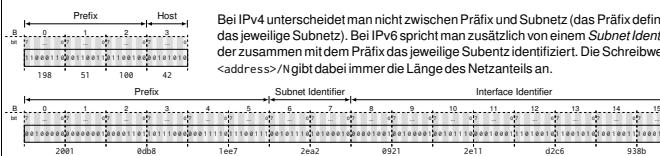
RTT (allgemein): $\text{RTT} = \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} (t_s(i, j) + t_p(i, j)) + \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}'} (t_s(i, j) + t_p(i, j))$

RTT (symmetrische Pfade): $\text{RTT}(s, t) = 2 \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} (t_s(i, j) + t_p(i, j))$

Spezielle IP-Adressen / Adressbereiche:

Adressbereich	Funktion	Adressbereich	Funktion
0..0..0..0/8	Hosts in diesem Netzwerk	::/128	nicht-spezifizierte Adresse
127.0..0..0/8	Loopback, speziell 127.0.0.1	::/128	Loopback
10..0..0..0/8	private Adressen	fe80::/10	Link-Local Adressen
172.16..0..0/12	private Adressen	fc00::/7	Unique Local Unicast Adressen
192.168..0..0/16	private Adressen	ff00::/8	Multicast Adressen
169.254..0..0/16	Automatic Private IP Addressing	ff02::1/128	All Nodes
255.255..255.252/32	Global Broadcast	ff02::1:ff00::1/104	Solicited Node Adressen

IPv4/6 Adressformat: (Beispiele)



Transportschicht

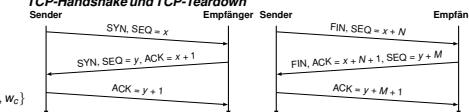
Schiebefensterprotokolle

Kardinalität Sequenznummernraum: N . Maximale Größe des Sendefensters w_s um Verwechslungen zu vermeiden:

Go-Back-N: $w_s \leq N - 1$

Selective Repeat: $w_s \leq \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor$

Fenster bei TCP



TCP Durchsatz in der Congestion Avoidance Phase. Annahme: Segmentverlust im Netzwerk ab $w_s \geq x \cdot \text{MSS}$.

Zeit zwischen Segmentverlust: $T = \left(\frac{x}{2} + 1\right) \cdot \text{RTT}$

Anzahl gesendeter Segmente in T: $n = \frac{3}{8}x^2 + \frac{3}{4}x$

Verlustrate: $\theta = \frac{1}{n} \cdot \text{MSS}$

Durchsatz: $r_{TCP} = \frac{n \cdot \text{MSS}}{T} \cdot (1 - \theta)$

Anwendungsschicht

Präfixfreie Codes

Gültige Codewörter eines **präfixfreien Code** sind niemals Präfix eines anderen Codeworts desselben Codes.

Ein optimaler präfixfreier Code minimiert die mittlere Codewortlänge

$$\sum_{i \in \mathcal{A}} p(i) \cdot |c(i)|,$$

wobei $p(i)$ die Auftretswahrscheinlichkeit von $i \in \mathcal{A}$ und $c(i)$ die Abbildung auf ein entsprechendes Codewort bezeichnen.

DNS Resource Records

Record-Typ	Funktion
SOA	(Start of Authority) markiert die Wurzel einer Zone
NS	geben die FQDNs der für die Zone autoritativen Nameserver an
A	assoziierten einen FQDN mit einer IPv4-Adresse
AAAA	assoziierten einen FQDN mit einer IPv6-Adresse
CNAME	Alias, verweist auf ein „Canonical Name“, welcher wiederum ein FQDN ist
MX	geben den Mailserver als FQDN einer Domain an
TXT	assoziierten einen FQDN mit einem String (Text)
PTR	assoziierten eine IPv4- oder IPv6-Adresse mit einem FQDN (Reverse DNS)

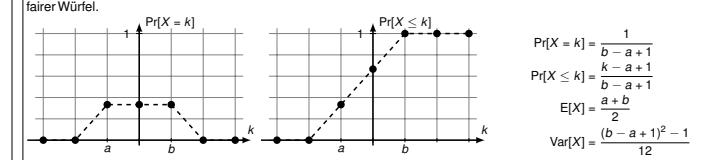
Reverse DNS Zonen

IPv4: in-addr.arpa., IPv6: ip6.arpa.

Wahrscheinlichkeitsverteilungen

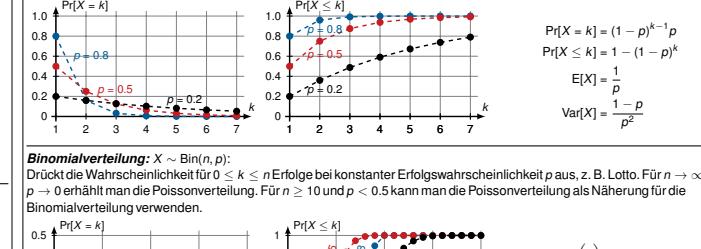
Discrete Gleichverteilung: $X \sim U(a, b)$:

Drückt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten von mehreren gleichwahrscheinlichen Ereignissen aus, z. B. fairer Würfel.



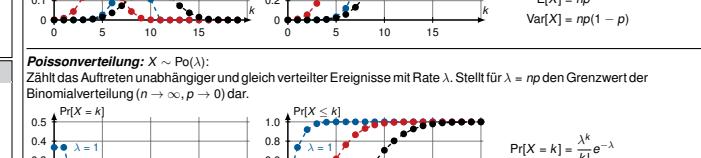
Geometrische Verteilung: $X \sim \text{Geo}(p)$:

Drückt ein zeitdiskretes Warteproblem aus, z. B. zählt die Anzahl der Versuche bis zum Erfolg (bzw. die Anzahl erfolgloser Versuche bis zum Erfolg, wenn der Exponent entsprechend verschoben wird).



Binomialverteilung: $X \sim \text{Bin}(n, p)$:

Drückt die Wahrscheinlichkeit für $0 \leq k \leq n$ Erfolge bei konstanter Erfolgswahrscheinlichkeit p aus, z. B. Lotto. Für $n \rightarrow \infty$ und $p \rightarrow 0$ erhält man die Poissonverteilung. Für $n \geq 10$ und $p < 0.5$ kann man die Poissonverteilung als Näherung für die Binomialverteilung verwenden.



Poissonverteilung: $X \sim \text{Po}(\lambda)$:

Zählt das Auftreten unabhängiger und gleich verteilter Ereignisse mit Rate λ . Stellt für $\lambda = np$ den Grenzwert der Binomialverteilung ($n \rightarrow \infty, p \rightarrow 0$) dar.

