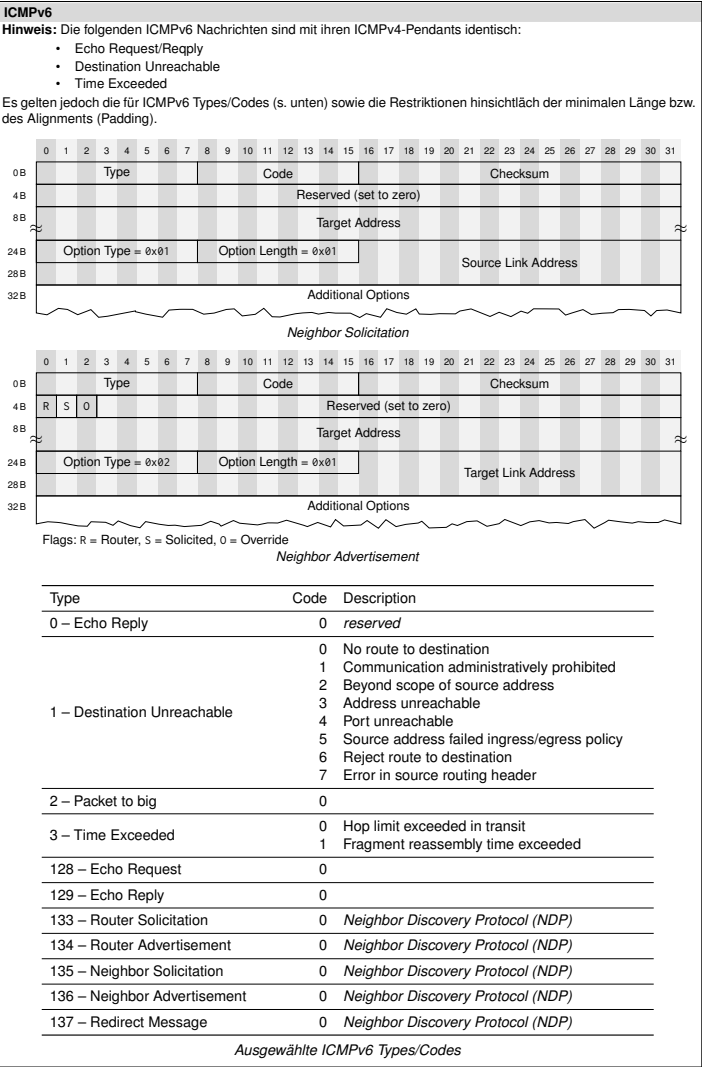


Type	Code	Description
0 – Echo Reply	0	Echo reply
1 and 2		<i>Reserved</i>
	0	Destination network unreachable
	1	Destination host unreachable
	2	Destination protocol unreachable
	3	Destination port unreachable
	4	Fragmentation required, and DF flag set
	5	Source route failed
	6	Destination network unknown
	7	Destination host unknown
	8	Source host isolated
	9	Network administratively prohibited
	10	Host administratively prohibited
	11	Network unreachable for TOS
	12	Host unreachable for TOS
	13	Communication administratively prohibited
	14	Host Precedence Violation
	15	Precedence cutoff in effect
4 – Source Quench	0	Source quench (congestion control)
5 – Redirect Message	0	Redirect Datagram for the Network
	1	Redirect Datagram for the Host
	2	Redirect Datagram for the TOS & network
	3	Redirect Datagram for the TOS & host
8 – Echo Request	0	Echo request
11 – Time Exceeded	0	TTL expired in transit
	1	Fragment Reassembly Time Exceeded

Ausgewählte ICMPv4 Types/Codes





Physikalische Schicht Physikalische Konstanten/Zusammenhänge:	
Lichtgeschwindigkeit:	$c_L \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Cu:	$\nu = 2/3$
Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Lichtwellenleiter:	$\nu = 0.9$
Wellenlänge:	$\lambda = c/f$

Informationsgehalt und Entropie: Gedächtnislose Quelle emittiert Zeichen $x \in \mathcal{X}$, ausgedrückt durch ZV X sei:
Informationsgehalt von $x \in \mathcal{X}$: $I(x) = -\log_2(\Pr[X=x])$
Entropie der Quelle: $H(X) = -\sum_{x \in \mathcal{X}} \Pr[X=x] \log_2(\Pr[X=x])$

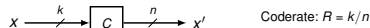
Fourierreihe: Kreisfrequenz $\omega = 2\pi/T$
$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t) \quad \text{mit } a_k = \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(k\omega t) dt, \quad b_k = \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(k\omega t) dt.$$

Fouriertransformation: $s(t) \longleftrightarrow S(f)$, $\omega = 2\pi f$ bzw. $\omega = 2\pi/T$, falls normiert auf Periode eines Grundimpulses.
$$S(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{j\omega t} dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cos(\omega t) - j \sin(\omega t) dt.$$

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: $\Delta = \frac{b-1}{M}$, mit $M = 2^N$ Stufen bei N bit Genauigkeit
Quantisierungsstufen: $Q = \{a + \Delta/4, a + \Delta(1+1/4), \dots, a + \Delta(M-1+1/4)\}$
 $\mathbb{R} \rightarrow Q, \hat{s}[n] \rightarrow \tilde{s}[n]$ (Runden)
Quantisiertes Signal: $\tilde{s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \hat{s}[n] \cdot \text{rect}(t - nT_a), \text{rect}(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } -T_a/2 \leq t \leq T_a/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$
Quantisierungsfehler: $q_e(t) = s(t) - \tilde{s}(t) \leq \Delta/2$, wenn $a \leq s(t) \leq b$
Rekonstruktion $\hat{s}(t) \approx \sum_{n=-\infty}^{\infty} \hat{s}[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - nT_a}{T_a}\right), \text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$

Kanalbandbreite: C_{\max} ist eine obere Schranke für die erzielbare Netto-Datenrate in bit/second, d.h. Übertragung redundanzfreier Daten. Dazu kann es notwendig sein, Redundanz hinzuzufügen (Kanalkodierung), was jedoch am Informationsgehalt der Nachricht nichts ändert.
Hartley: $C_H = 2B \log_2(M)$ (B = einseitige Grenzfrequenz im Basisband)
Shannon/Hartley: $C_S = B' \log_2(1 + \text{SNR})$ (B' = Bandbreite im Passband, d.h. $B' = 2B$)
Signal-to-Noise Ratio: $\text{SNR} = \frac{P_S}{P_N}$ = Signalleistung / Rauschleistung
Signal-to-Noise Ratio dB: $\text{SNR dB} = 10 \log_{10}(\text{SNR})$ dB
Obere Schranke: $C \leq \min\{C_H, C_S\}$

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



Modulation:
$$s(t) = \left(\sum_{n=0}^{\infty} d_n [n] g_T(t - nT) \right) \cos(2\pi f_c t) - \left(\sum_{n=0}^{\infty} d_n [n] g_T(t - nT) \right) \sin(2\pi f_c t)$$

Diagramm zeigt die Basisband- und Passband-Signale sowie die 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: $D = (d_{ij}) = \begin{cases} 0 & \exists (i,j) \in A \\ \infty & \text{sonst} \end{cases}$
min-plus-Produkt: $D^n = D^{n-1} \otimes D$, mit $d_{ij}^n = \min_{k \in \mathcal{N}} \{d_{ik}^{n-1} + d_{kj}\}$, $n \geq 1$

Vermittlungsschicht
Vermittlungsarten: Übertragungszeit einer Nachricht der Länge der L über n Zwischenstationen mit jeweils identischer Datenrate r über die Gesamtdistanz d :

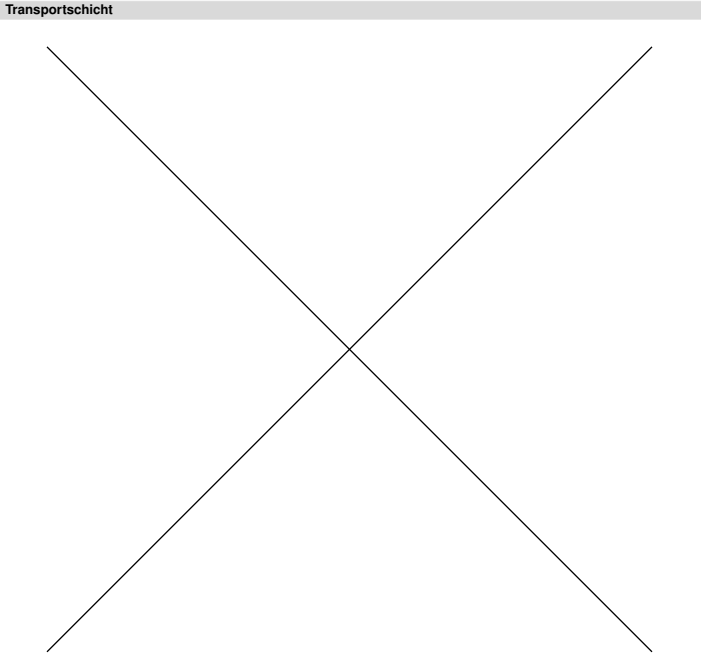
Leistungsvermittlung: $T_{LV} = t_s + 4t_p = \frac{L}{r} + \frac{4d}{\nu c}$
Nachrichtenvermittlung: $T_{NV} = (n+1)t_s + t_p = (n+1)\frac{L_H + L}{r} + \frac{d}{\nu c}$, L_H = Länge des Nachrichtenheaders
Packetvermittlung: $T_{PV} = \frac{1}{r} \left(\frac{L}{\rho_{\max}} L_H + L + n(L_H + \rho_{\max}) \right) + \frac{d}{\nu c}$, L_H = Länge der Paketheader

Round Trip Time (RTT): RTT zwischen den Knoten $s, t \in \mathcal{N}$ über den Pfad $\mathcal{P} = \{(s, 1), (1, 2), \dots, (n, t)\}$:
RTT (allgemein): $\text{RTT}(s, t) = \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} (t_s(i, j) + t_p(i, j)) + \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} (t_s(j, i) + t_p(j, i))$
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
0.0.0.0/8	Hosts in diesem Netzwerk
127.0.0.0/8	Loopback, speziell 127.0.0.1
10.0.0.0/8	
172.16.0.0/12	private Adressen
192.168.0.0/16	
169.255.0.0/16	Automatic Private IP Addressing
255.255.255.255/32	Global Broadcast

Adressbereich	Funktion
::/128	nicht-spezifizierte Adresse
:::1/128	Loopback
fe80::/10	Link-Local Adressen
fc00::/7	Unique-Local Unicast Adressen
ff00::/8	Multicast Adressen
All Nodes	
ff02::1:ff00/104	Solicited Node Address

IPv4/6 Adressformat: (Beispiele)
Bei IPv4 unterscheidet man nicht zwischen Präfix und Subnetz (das Präfix definiert das jeweilige Subnetz). Bei IPv6 spricht man zusätzlich von einem Subnet Identifier, der zusammen mit dem Präfix das jeweilige Subnetz identifiziert. Die Schreibweise <address>/N gibt dabei immer die Länge des Netzanteils an.
Diagramm zeigt die Struktur von IPv4 und IPv6 Adressen mit Präfix, Subnet Identifier und Interface Identifier.



Transportschicht

Wahrscheinlichkeitsverteilungen
Diskrete Gleichverteilung: $X \sim U(a, b)$:
Drückt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten von mehreren gleichwahrscheinlichen Ereignissen aus, z.B. fairer Würfel.
Diagramm zeigt die diskrete Gleichverteilung und die Wahrscheinlichkeitsfunktion $\Pr[X=k]$ und $\Pr[X \leq k]$.
$$\Pr[X=k] = \frac{1}{b-a+1}$$
$$\Pr[X \leq k] = \frac{k-a+1}{b-a+1}$$
$$E[X] = \frac{a+b}{2}$$
$$\text{Var}[X] = \frac{(b-a+1)^2 - 1}{12}$$

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 erfolgreicher Versuche bis zum Erfolg, wenn der Exponent entsprechend verschoben wird).
Diagramm zeigt die geometrische Verteilung und die Wahrscheinlichkeitsfunktion $\Pr[X=k]$ und $\Pr[X \leq k]$.
$$\Pr[X=k] = (1-p)^{k-1} p$$
$$\Pr[X \leq k] = 1 - (1-p)^k$$
$$E[X] = \frac{1}{p}$$
$$\text{Var}[X] = \frac{1-p}{p^2}$$

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 $p \rightarrow 0$ erhöht man die Poissonverteilung. Für $n \geq 10$ und $p < 0.5$ kann man die Poissonverteilung als Näherung für die Binomialverteilung verwenden.
Diagramm zeigt die Binomialverteilung und die Wahrscheinlichkeitsfunktion $\Pr[X=k]$ und $\Pr[X \leq k]$.
$$\Pr[X=k] = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$
$$\Pr[X \leq k] \text{ keine geschlossene Form}$$
$$E[X] = np$$
$$\text{Var}[X] = np(1-p)$$

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.
Diagramm zeigt die Poissonverteilung und die Wahrscheinlichkeitsfunktion $\Pr[X=k]$ und $\Pr[X \leq k]$.
$$\Pr[X=k] = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$
$$\Pr[X \leq k] \text{ keine geschlossene Form}$$
$$E[X] = \lambda$$
$$\text{Var}[X] = \lambda$$

Zahlensysteme
Diagramm zeigt die Umrechnung zwischen Dezimal, Hexadezimal, Oktal, Binär und ASCII.

Zehlsystemen																						
Dez				Hex	Oktal	Binär	ASCII	Dez				Hex	Oktal	Binär	ASCII	Dez				Hex	Oktal	Binär
0	00	000	00000000	NUL	64	40	100 01000000	0	128	80	200	10000000	192	c0	300	11000000	128	80	200	10000000		
1	01	001	00000001	SOH	65	41	101 01000001	A	129	81	201	10000001	193	c1	301	11000001	129	81	201	10000001		
2	02	002	00000010	STX	66	42	100 01000010	B	130	82	202	10000010	194	c2	302	11000010	130	82	202	10000010		
3	03	003	00000011	ETX	67	43	100 01000011	C	131	83	203	10000011	195	c3	303	11000011	131	83	203	10000011		
4	04	004	00000100	EOF	68	44	100 01000100	D	132	84	204	10000100	196	c4	304	11000100	132	84	204	10000100		
5	05	005	00000101	ENQ	69	45	100 01000101	E	133	85	205	10000101	197	c5	305	11000101	133	85	205	10000101		
6	06	006	00000110	ACK	70	46	100 01000110	F	134	86	206	10000110	198	c6	306	11000110	134	86	206	10000110		
7	07	007	00000111	BEL	71	47	100 01000111	G	135	87	207	10000111	199	c7	307	11000111	135	87	207	10000111		
8	08	010	00001000	BS	72	48	110 01000000	H	136	88	210	10001000	200	c8	310	11001000	136	88	210	10001000		
9	09	011	00001001	HT	73	49	111 01000001	I	137	89	211	10001001	201	c9	311	11001001	137	89	211	10001001		
10	0a	012	00001010	LF	74	4a	112 01000010	J	138	8a	212	10001010	202	ca	312	11001010	138	8a	212	10001010		
11	0b	013	00001011	VT	75	4b	113 01000011	K	139	8b	213	10001011	203	cb	313	11001011	139	8b	213	10001011		
12	0c	014	00001100	FF	76	4c	114 01001000	L	140	8c	214	10001100	204	cc	314	11001100	140	8c	214	10001100		
13	0d	015	00001101	CR	77	4d	115 01001001	M	141	8d	215	10001101	205	cd	315	11001101	141	8d	215	10001101		
14	0e	016	00001110	SO	78	4e	116 01001100	N	142	8e	216	10001110	206	ce	316	11001110	142	8e	216	10001110		
15	0f	017	00001111	SI	79	4f	117 01001101	O	143	8f	217	10001111	207	cf	317	11001111	143	8f	217	10001111		
16	10	020	00010000	DLE	80	50	120 01000000	P	144	90	220	10010000	208	d0	320	11010000	144	90	220	10010000		
17	11	021	00010001	Q	81	51	121 01000001	Q	145	91	221	10010001	209	d1	321	11010001	145	91	221	10010001		
18	12	022	00010010	DC2	82	52	122 01000010	R	146	92	222	10010010	210	d2	322	11010010	146	92	222	10010010		
19	13	023	00010011	DC3	83	53	123 01000011	S	147	93	223	10010011	211	d3	323	11010011	147	93	223	10010011		
20	14	024	00010100	DC4	84	54	124 01010000	T	148	94	224	10010100	212	d4	324	11010100	148	94	224	10010100		
21	15	025	00010101	NAK	85	55	125 01010001	U	149	95	225	10010101	213	d5	325	11010101	149	95	225	10010101		
22	16	026	00010110	CAN	86	56	126 01010010	V	150	96	226	10010110	214	d6	326	11010110	150	96	226	10010110		
23	17	027	00010111	ETB	87	57	127 01010011	W	151	97	227	10010111	215	d7	327	11010111	151	97	227	10010111		
24	18	028	00011000	CM	88	58	128 01010000	X	152	98	228	10011000	216	d8	328	11011000	152	98	228	10011000		
25	19	031	00011001	EM	89	59	131 01010001	Y	153	99	231	10011001	217	d9	331	11011001	153	99	231	10011001		
26	1a	032	00011010	FS	90	5a	132 01010010	Z	154	9a	232	10011010	218	da	332	11011010	154	9a	232	10011010		
27	1b	033	00011011	ESC	91	5b	133 01010011	[	155	9b	233	10011011	219	db	333	11011011	155	9b	233	10011011	
28	1c	034	00011100	FS	92	5c	134 01011000	\	156	9c	234	10011100	220	dc	334	11011100	156	9c	234	10011100		
29	1d	035	00011101	GS	93	5d	135 01011001	]	157	9d	235	10011101	221	dd	335	11011101	157	9d	235	10011101	
30	1e	036	00011110	RS	94	5e	136 01011100	^	158	9e	236	10011110	222	de	336	11011110	158	9e	236	10011110		
31	1f	037	00011111	US	95	5f	137 01011101	_	159	9f	237	10011111	223	df	337	11011111	159	9f	237	10011111		
32	20	040	00100000	SPACE	96	60	140 01000000	0	160	a0	240	10100000	224	e0	340	11100000	160	a0	240	10100000		
33	21	041	00100001	1	97	61	141 01000001	1	161	a1	241	10100001	225	e1	341	11100001	161	a1	241	10100001		
34	22	042	00100010	2	98	62	142 01000010	2	162	a2	242	10100010	226	e2	342	11100010	162	a2	242	10100010		
35	23	043	00100011	3	99	63	143 01000011	3	163	a3	243	10100011	227	e3	343	11100011	163	a3	243	10100011		
36	24	044	00100100	4	100	64	144 01000100	4	164	a4	244	10100100	228	e4	344	11100100	164	a4	244	10100100		
37	25	045	00100101	5	101	65	145 01000101	5	165	a5	245	10100101	229	e5	345	11100101	165	a5	245	10100101		
38	26	046	00100110	6	102	66	146 01000110	6	166	a6	246	10100110	230	e6	346	11100110	166	a6	246	10100110		
39	27	047	00100111	7	103	67	147 01000111	7	167	a7	247	10100111	231	e7	347	11100111	167	a7	247	10100111		
40	28	050	00101000	8	104	68	150 01010000	8	168	ao	250	10101000	232	e8	350	11101000	168	ao	250	10101000		
41	29	051	00101001	9	105	69	151 01010001	I	169	ap	251	10101001	233	e9	351	11101001	169	ap	251	10101001		
42	2a	052	00101010	A	106	6a	152 01010010	J	170	aq	252	10101010	234	ea	352	11101010	170	aq	252	10101010		
43	2b	053	00101011	B	107	6b	153 01010011	K	171	ar	253	10101011	235	eb	353	11101011	171	ar	253	10101011		
44	2c	054	00101100	C	108	6c	154 01010100	L	172	as	254	10101100	236	ec	354	11101100	172	as	254	10101100		
45	2d	055	00101101	D	109	6d	155 01010101	M	173	at	255	10101101	237	ed	355	11101101	173	at	255	10101101		
46	2e	056	00101110	E	110	6e	156 01010110	N	174	au	256	10101110	238	ee	356	11101110	174	au	256	10101110		
47	2f	057	00101111	F	111	6f	157 01010111	O	175	av	257	10101111	239	ef	357	11101111	175	av	257	10101111		
48	30	060	00101000	0	112	70	160 01100000	P	176	aw	260	10110000	240	f0	360	11110000	176	aw	260	10110000		
49	31	061	00101001	1	113	71	161 01100001	q	177	ax	261	10110001	241	f1	361	11110001	177	ax	261	10110001		
50	32	062	00101010	2	114	72	162 01100010	r	178	ay	262	10110010	242	f2	362	11110010	178	ay	262	10110010		
51	33	063	00101011	3	115	73	163 01100011	s	179	az	263	10110011	243	f3	363	11110011	179	az	263	10110011		
52	34	064	00101100	4	116	74	164 01100100	T	180	ba	264	10110100	244	f4	364	11110100	180	ba	264	10110100		
53	35	065	00101101	5	117	75	165 01100101	u	181	bb	265	10110101	245	f5	365	11110101	181	bb	265	10110101		
54	36	066	00101110	6	118	76	166 01100110	v	182	bb	266	10110110	246	f6	366	11110110	182	bb	266	10110110		
55	37	067	00101111	7	119	77	167 01100111	w	183	bc	267	10110111	247	f7	367	11110111	183	bc	267	10110111		
56	38	070	00101000	8	120	78	170 01101000	x	184	bd	270	10111000	248	f8	370	11111000	184	bd	270	10111000		
57	39	071	00101001	9	121	79	171 01101001	y	185	be	271	10111001	249	f9	371	11111001	185	be	271	10111001		
58	3a	072	00101010	A	122	7a	172 01101010	z	186	bf	272	10111010	250	fa	372	11111010	186	bf	272	10111010		
59	3b	073	00101011	B	123	7b	173 01101011	[	187	bg	273	10111011	251	fb	373	11111011	187	bg	273	10111011	
60	3c	074	00101100	C	124	7c	174 01101100	]	188	bh	274	10111100	252	fb	374	11111100	188	bh	274	10111100	
61	3d	075	00101101	D	125	7d	175 01101101	^	189	bd	275	10111101	253	fc	375	11111101	189	bd	275	10111101		
62	3e	076	00101110	E	126	7e	176 01101110	_	190	be	276	10111110	254	fd	376	11111110	190	be	276	10111110		
63	3f	077	00101111	F	127	7f	177 01101111	DEL	191	bf	277	11111111	255	fe	377	11111111	191	bf	277	11111111		