

**Esolution**

Sticker mit SRID hier einkleben

**Hinweise zur Personalisierung:**

- Ihre Prüfung wird bei der Anwesenheitskontrolle durch Aufkleben eines Codes personalisiert.
- Dieser enthält lediglich eine fortlaufende Nummer, welche auch auf der Anwesenheitsliste neben dem Unterschriftenfeld vermerkt ist.
- Diese wird als Pseudonym verwendet, um eine eindeutige Zuordnung Ihrer Prüfung zu ermöglichen.

## Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

**Klausur:** IN0010 / Hausaufgabe 6  
**Prüfer:** Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

**Datum:** Montag, 8. Juni 2020  
**Uhrzeit:** 14:00 – 23:59

### Bearbeitungshinweise

- Die erreichbare Gesamtpunktzahl beträgt 30 Punkte.
- Bitte geben Sie bis spätestens Sonntag, den **14. Juni um 23:59 CEST** über TUMexam ab.  
*Bitte haben Sie Verständnis, wenn das Abgabesystem noch nicht reibungslos funktioniert. Wir arbeiten daran!*
- Ihren **persönlichen** Link zur Abgabe finden Sie auf Moodle. Geben Sie diesen **nicht** weiter.
- Bitte haben Sie Verständnis, falls die Abgabeseite zeitweilig nicht erreichbar ist.

### Bitte nehmen Sie die Hausaufgaben dennoch ernst:

- Neben der Einübung des Vorlesungsstoffs und der Klausurvorbereitung dienen die Hausaufgaben auch dazu, den Ablauf der Midterm zu erproben.
- Finden Sie einen für sich selbst praktikablen und effizienten Weg, die Hausaufgaben zu bearbeiten. Hinweise hierzu haben wir auf [https://grnvs.net.in.tum.de/homework\\_submission\\_details.pdf](https://grnvs.net.in.tum.de/homework_submission_details.pdf) für Sie zusammengestellt.

Hörsaal verlassen von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_ / Vorzeitige Abgabe um \_\_\_\_\_

## Aufgabe 1 Bitübertragungstechniken (7 Punkte)

Seit 2010 verbindet ein neues Unterseekabel Japan und die USA. Das Kabel verläuft von Chikura nahe Tokio nach Los Angeles in Kalifornien (ca. 10 000 km) und besteht aus 8 Faserpaaren (wobei in jedem Faserpaar eine Faser für die eine Richtung und die andere Faser für die andere Richtung benutzt wird). Die Übertragungsrate beträgt insgesamt 7,68 Tbit/s pro Richtung.

Als vereinfachende Annahmen setzen wir voraus, dass das Licht nur den Weg des Kabels zurücklegt und keine Signalbeeinträchtigungen oder Verzögerungen durch Signalverstärker, Steckverbinder und ähnliches auftreten. Die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht innerhalb einer Glasfaser beträgt (ebenso wie in Kupferleitungen) etwa  $\nu = 2/3$  bezogen auf die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  m/s.

0 ☐  
1 ☐

a)\* Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung von Chikura nach Los Angeles innerhalb des Kabels.

$$t_p = \frac{d}{\nu c_0} = \frac{10^7 \text{ m}}{2/3 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 50 \text{ ms}$$

0 ☐  
1 ☐

b)\* Was sagt das *Bandbreitenverzögerungsprodukt* aus?

Das Bandbreitenverzögerungsprodukt gibt die „auf der Leitung gespeicherte“ Datenmenge an, d. h. wie viele Bit vom Sender serialisiert werden bevor das erste Bit den Empfänger erreicht.

0 ☐  
1 ☐

c) Bestimmen Sie das Bandbreitenverzögerungsprodukt.

$$B = r \cdot t_p = 7,68 \cdot 10^{12} \text{ bit/s} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 384 \cdot 10^9 \text{ bit} = 384 \text{ Gbit} = 48 \text{ GB}$$

Die Verlegung und Instandhaltung eines Unterseekabels ist sehr aufwendig. Die Verbindung zwischen den beiden Städten könnte ebenso über Satellit erfolgen. Betrachten Sie die beiden Verbindungswege kurz in Bezug auf die Round-Trip-Time (RTT<sup>1</sup>).

Nehmen Sie dazu an, dass das Unterseekabel in direkter Luftlinienverbindung zwischen Chikura und Los Angeles liegt. Vernachlässigen Sie dabei die Erdkrümmung. Ein geostationärer Satellit (36 000 km Höhe) befindet sich genau über dem Mittelpunkt der Strecke.

0 ☐  
1 ☐  
2 ☐

d) Bestimmen Sie die minimale RTT für das Unterseekabel. **Hinweis:** Überlegen Sie sich, welche Komponente der RTT im vorliegenden Fall den wesentlichen Beitrag liefert.

$RTT = 2 \cdot (t_s + t_p)$ . Mit  $t_s \rightarrow 0$  (sehr hohe Übertragungsrate), reduziert sich die RTT auf  $RTT = 2t_p$ .

$$RTT = 2t_p = 100 \text{ ms}$$

<sup>1</sup> Als RTT bezeichnet man die Zeit, die eine Nachricht vom Sender zum Empfänger und wieder zurück benötigt.

e) Bestimmen Sie die minimale RTT für eine entsprechende Satellitenverbindung.

**Hinweis:** Überlegen Sie, welche Streckenabschnitte ggf. vernachlässigt werden können. Die Erdkrümmung kann vernachlässigt werden.

$$RTT_{\text{Satellit}} = 2 \cdot t_{p,sat} = 2 \cdot \frac{d_{sat}}{c_0} = 2 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{5000^2 + 36000^2} \text{ km}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 485 \text{ ms}$$

0  
1  
2

## Aufgabe 2 ARP und IP-Fragmentierung (23 Punkte)

In Abbildung 2.1 ist eine Anordnung von Netzkomponenten mit ihren IP- und MAC-Adressen dargestellt. Die beiden Computer PC1 und PC2 verwenden den jeweils lokalen Router als Default-Gateway. PC1 sendet ein IP-Paket mit 1000 B Nutzdaten an PC2. Die MTU auf dem WAN-Link zwischen R1 und R2 betrage 580 B. Innerhalb der lokalen Netzwerke gelte die für Ethernet übliche MTU von 1500 B.

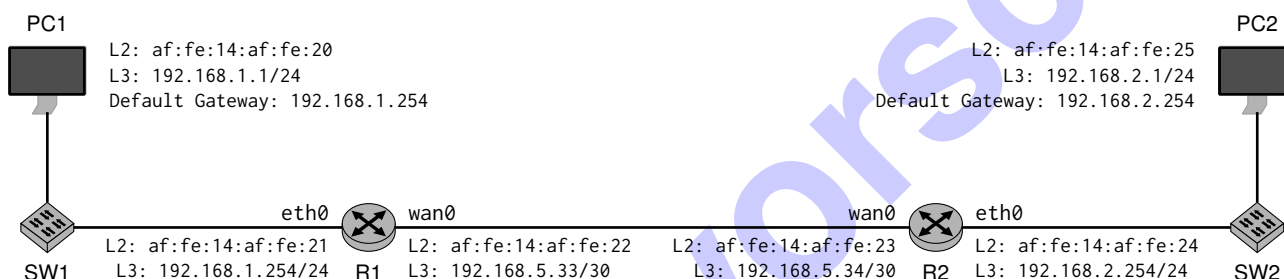


Abbildung 2.1: Netztopologie

Im Folgenden soll die Übertragung des Pakets mit allen notwendigen Zwischenschritten nachvollzogen werden. Gehen Sie zunächst davon aus, dass die ARP-Caches aller beteiligten Netzwerkkomponenten geleert sind.

a)\* Inwiefern wirken sich die beiden Switches SW1 und SW2 in diesem Beispiel aus?

Die Switches haben keinerlei Einfluss auf die ausgetauschten Nachrichten. Switches sind i. A. transparent für die angeschlossenen Hosts. Insbesondere verändern Switches weder Absender noch Empfänger Adresse.

0  
1

b)\* In wie viele Fragmente muss R1 das Paket von PC1 aufteilen?

Die MTU (Maximum Transmission Unit) ist die maximale Größe eines Pakets auf Schicht 3 inkl. Header. Sie entspricht also genau der maximalen Größe der Payload auf Schicht 2. Mit dem Wissen, dass ein IP-Header 20 B lang ist (Ausnahme bei Verwendung von Optionen), erhalten wir:

$$N = \left\lceil \frac{1000 \text{ B}}{580 \text{ B} - 20 \text{ B}} \right\rceil = 2$$

0  
1  
2

- 0 ☐
- 1 ☐
- 2 ☐

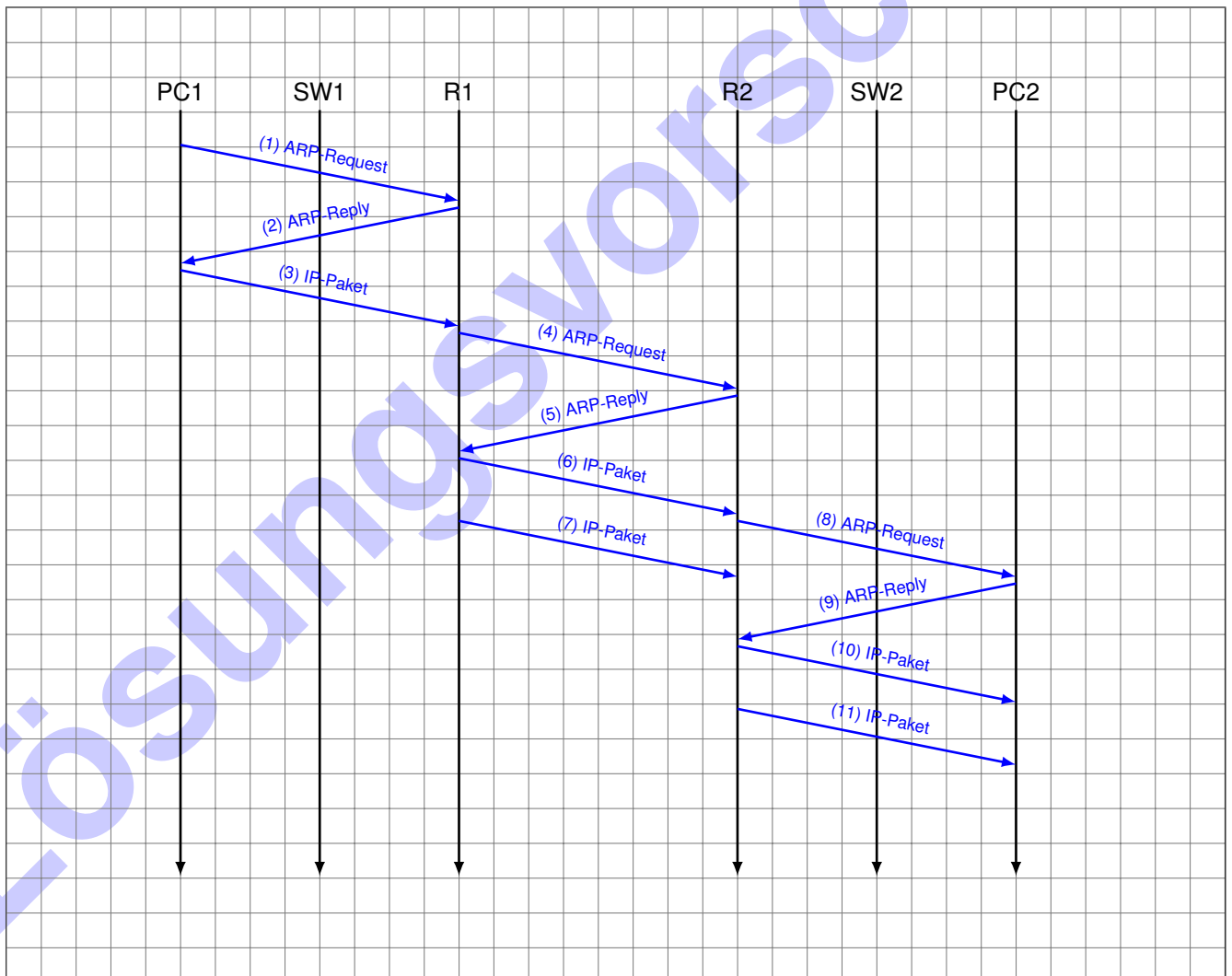
c)\* An welcher Stelle im Netzwerk werden die Fragmente reassembliert?

Erst der Empfänger, hier also PC2, reassembliert die Fragmente wieder. Tatsächlich kann i. A. kein anderer Knoten die Reassemblierung durchführen, da die Fragmente jeweils einzelne und voneinander unabhängige Pakete darstellen.

Dies bedeutet insbesondere, dass sie unabhängig voneinander geroutet werden und daher u. U. verschiedene Wege zum Ziel nehmen können – das sieht man aus dem einfachen Beispiel in Abbildung 2.1 natürlich nicht, da es hier nur einen Pfad zwischen PC1 und PC2 gibt.

- 0 ☐
- 1 ☐
- 2 ☐
- 3 ☐

d) Skizzieren Sie ein einfaches Weg-Zeit-Diagramm, welches **alle Rahmen** berücksichtigt, die auf den jeweiligen Verbindungen übertragen werden müssen. **Nennen Sie die Art der ausgetauschten Rahmen und geben Sie den Rahmen Nummern (1,2,3,...).** (Das Diagramm muss nicht maßstabsgetreu sein. Serialisierungszeiten und Ausbreitungsverzögerungen sind zu vernachlässigen.)



**Am Ende dieses Übungsblatts finden Sie Vordrucke für Ethernet-Header, ARP-Pakete (Header und Payload) und IP-Header (mehr als benötigt).** Es ist nicht notwendig, den Header binär auszufüllen. Achten Sie lediglich darauf, dass Sie die Zahlenbasis deutlich Kennzeichnen, z. B.  $0x10$  für hexadezimal oder  $63_{(10)}$  für dezimal.

e) Füllen Sie für die ersten drei Rahmen aus Teilaufgabe d) jeweils einen Ethernet-Header und die passende Payload (ARP-Paket oder IP-Header mit angedeuteter Payload) aus. Beschriften Sie die gestrichelte Box neben dem jeweiligen Header/Paket mit der in Teilaufgabe d) vergebenen Rahmennummer.

f) Füllen Sie für alle übrigen Rahmen, welche eine IP-Payload transportieren, jeweils einen Ethernet- und IP-Header aus. Beschriften Sie die gestrichelte Box neben dem jeweiligen Header mit der in Teilaufgabe d) vergebenen Rahmennummer.

g)\* Angenommen PC1 und PC2 würden über IPv6 kommunizieren:

1. Welche Auswirkungen hätte dies auf die Switches SW1 und SW2?
2. Müssten die Router R1 und R2 in diesem Fall auch IPv6-fähig sein?
3. An welcher Stelle fände die Fragmentierung von Paketen statt?

1. Im gegebenen Fall gar keine: Switches arbeiten nur mit MAC-Adressen, an denen sich nichts ändern würde (abgesehen von ggf. Multicast).
2. Ja, zumindest an den lokalen Interfaces `eth0`, da IPv6 und IPv4 nicht kompatibel sind. Ein Transport von IPv6 über IPv4 mittels GRE (General Routing Encapsulation) ist dann zwar theoretisch möglich, wegen der nicht-injektiven Abbildbarkeit von IPv4 auf IPv6 aber wenig sinnvoll bzw. im Allgemeinen unmöglich.
3. Fragmentiert würde nun direkt an PC1, da bei IPv6 Router grundsätzlich nicht fragmentieren.

	0
	1
	2
	3
	4
	5
	6

	0
	1
	2
	3
	4
	5
	6

	0
	1
	2
	3

## Vordrucke für Protokoll-Header:

### Ethernet-Frames

1	ff:ff:ff:ff:ff:ff	af:fe:14:af:fe:20	0x0806	Payload	FCS
2	af:fe:14:af:fe:20	af:fe:14:af:fe:21	0x0806	Payload	FCS
3	af:fe:14:af:fe:21	af:fe:14:af:fe:20	0x0800	Payload	FCS
6	af:fe:14:af:fe:23	af:fe:14:af:fe:22	0x0800	Payload	FCS
7	af:fe:14:af:fe:23	af:fe:14:af:fe:22	0x0800	Payload	FCS
10	af:fe:14:af:fe:25	af:fe:14:af:fe:24	0x0800	Payload	FCS
11	af:fe:14:af:fe:25	af:fe:14:af:fe:24	0x0800	Payload	FCS
				Payload	FCS

### ARP-Pakete

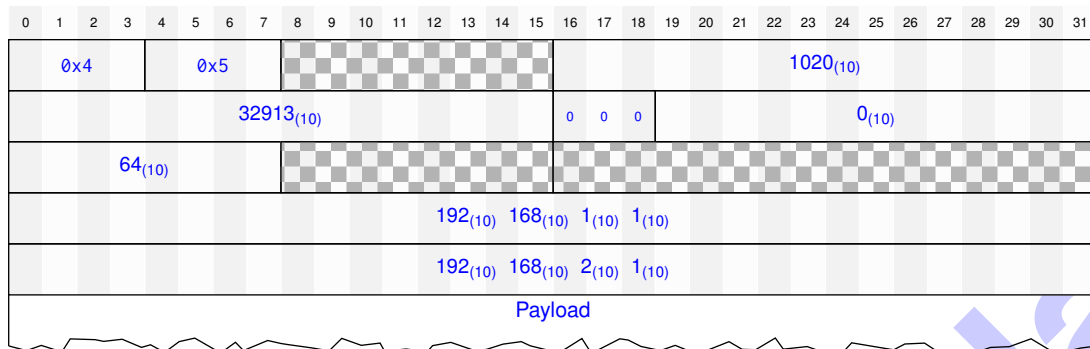
1		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0x0001																0x0800																	
0x06								0x04								0x0001																	
0xaffe14af																																	
0xfe20																192 <sub>(10)</sub> 168 <sub>(10)</sub>																	
1 <sub>(10)</sub> 1 <sub>(10)</sub>																0x0000																	
0x00000000																																	
192 <sub>(10)</sub> 168 <sub>(10)</sub> 1 <sub>(10)</sub> 254 <sub>(10)</sub>																																	

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
0x0001																0x0800															
0x06								0x04								0x0002															
0xffe14af																															
0xfe21																192 <sub>(10)</sub> 168 <sub>(10)</sub>															
1 <sub>(10)</sub> 254 <sub>(10)</sub>																0xffe															
0x1affe20																															
192 <sub>(10)</sub> 168 <sub>(10)</sub> 1 <sub>(10)</sub> 1 <sub>(10)</sub>																															

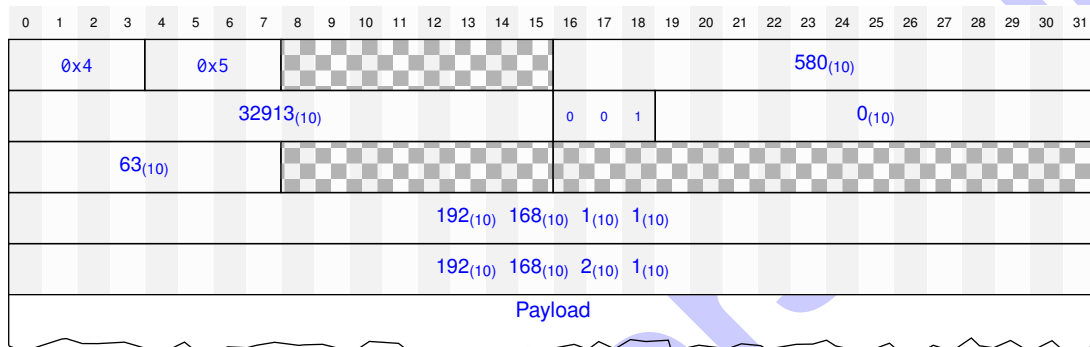
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

## IP-Pakete

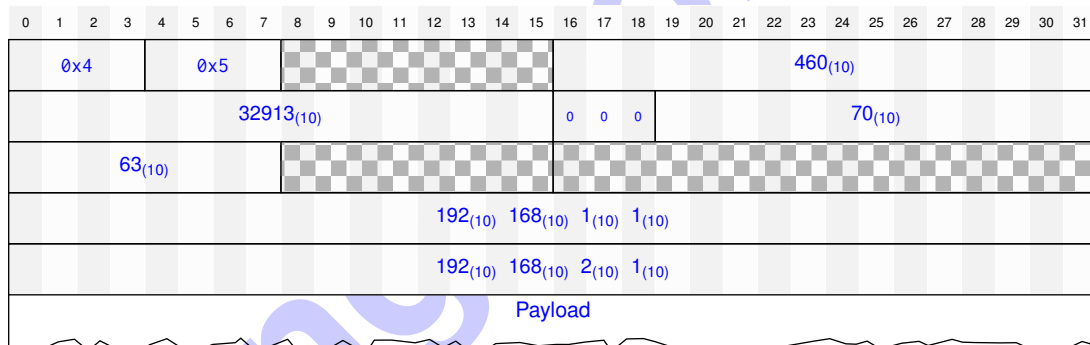
3



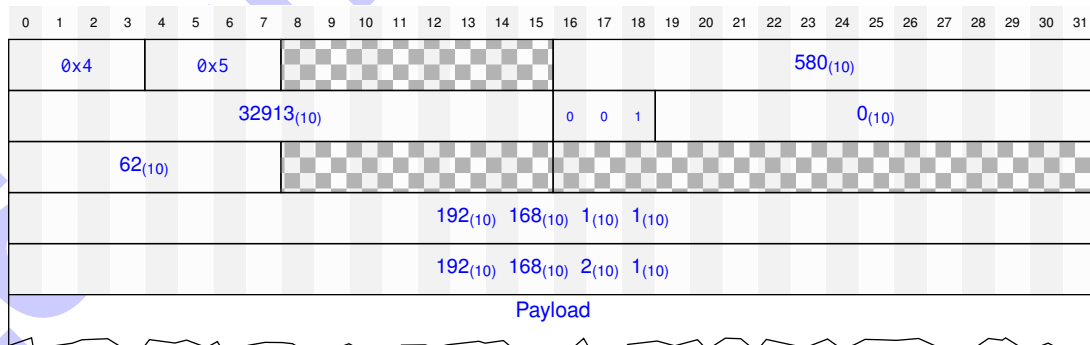
6



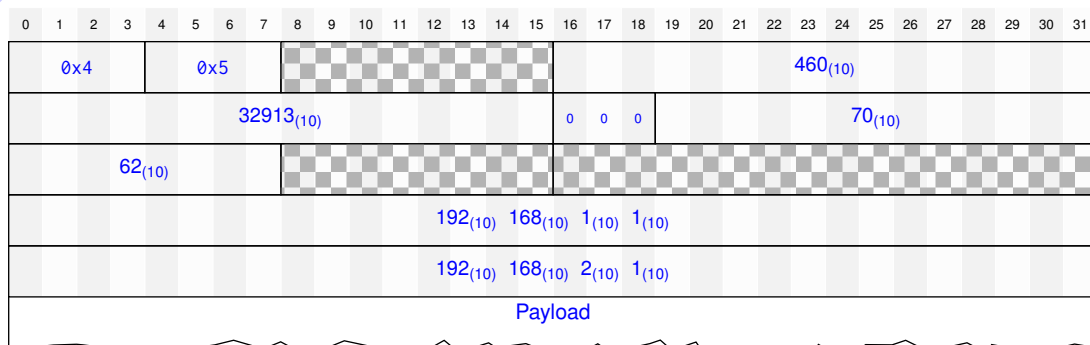
7



10



11



	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