

DVA218 - Lab 3b: Transmission Protocol

Sebastian Lindfors

May 16, 2018

Description

UTP - User (Datagram) Transmission Protocol - attempts to implement a reliable packet transmission protocol over unreliable UDP sockets, using MD5-verified checksums and control signaling to mimic the reliability of TCP. It consists of two separate parts: an example program that transmits messages peer-to-peer, and an interface that handles everything related to packaging, sending, and receiving data. Since the P2P program uses the interface, but not the other way around, the P2P program uses camel case and the interface uses C macro notation to differentiate between them.

This particular implementation prioritizes reliability over speed, which makes it suitable for data required to be intact on the receiving end, even when the connection is unreliable (paying bills when you're in Antarctica). It's however not well suited for data transfers that require close to real-time communication (a VOIP call or streaming media on your yacht in the Riviera).

The interface is generally applicable to any type of data where the smallest data fragment is one byte, since it's casting messages as arrays of characters. The program itself uses the interface without type casting to transfer a buffered input stream over the socket.

Control signaling

A frame (packet within window) contains parameters to notify the receiver of the contents of the packet, and how it should be interpreted. These parameters are payload size, packet sequence number, time stamp when the packet was sent, control flags, checksum and finally the payload itself. Some packets are sent purely for control signaling, and contain no payload. An exception from this is the handshake packet, which utilizes the same packet structure, but contains payload and window limits where you'd normally find payload information.

State machine comparison

The handshake state machines are close to identical to the actual implementation in terms of handling the process from idle to connected. The teardown state machines are somewhat different; instead of sending plain FINs in both directions, the code will just respond to a FIN in either direction with a FIN+ACK. The responder of the initial FIN will wait for a final ACK to tear the connection down, but will eventually timeout if the processes are out of sync (initiator closes down and exits due to packet loss and timeout, or one process is scheduled with processing time longer than the timeout span when running both instances on the same machine). In either case, the initial FIN always has to be accepted first before the initiator goes into the closing state.

The sliding window has changed the most from conceptual design to implementation. The conceptual design uses modulus operations to wrap around in a frame buffer to continuously serve and accept packets, whereas the actual code uses shifting buffers that exclude the lowest sequentially marked frame when it has been sent and acknowledged.

The reason for this change is that sequence numbers are generated as offsets of 64-bit timestamps defined during the handshake. It's easier to calculate a buffer index as the difference of a sequence number and a tracking offset. The window implementation can be imagined as a span of frames sliding over a continuous array, rather than looping around in a closed circuit.

For example, given an initial sequence number 5, the next expected frame will be 6. $6-5=1$, meaning it fits in the first index in the buffer. When checking the window, the receiver can tell that the first frame has been received and therefore shift the window forward and also increment the tracker value. The new tracker value will therefore be 6. Let's assume the next frame received has number 7, and the same principle applies; $7-6=1$. Should it however receive frame 8 due to packet loss, it will be stored in the 2nd index; $8-6=2$. In reality, the initial tracker value is incremented by one after the handshake, so that the first expected frame will be placed at index 0 (since C has zero-based arrays).

When a frame exists in the lowest buffer index, it's shifted out of the window buffer, and the payload of the frame is stored in an output buffer, until a frame in the first window buffer index is flagged with END (end of message). At that point, the output buffer prints its content and resets to await the next message. Out-of-bounds packets are handled by simply acknowledging them on the receiving end, but not storing them anywhere, which handles the problem of desynchronization between sender and receiver, and also guarantees that rogue packets will not be stored in the window buffer.

Send and receive, resend and request

The example program code uses three distinct threads to handle packet transmission. The main thread handles everything on its own when everything works as expected; the sending window is filled with packets and sent on the link in sequence. The receiving window stores arriving frames in sequence and returns ACKs to the sender. The sender compares the sequence numbers in its send and ACK buffer and slides the window accordingly.

Should something go wrong, two other threads run in conjunction with the main thread to handle these packets. The resending thread looks through the send and ACK buffers for misaligned sequence numbers (an ACK is missing) and resends the frame that was never acknowledged. The request thread does the opposite; it goes through the receive buffer and looks for empty indices (gaps

between frames) and calculates the expected sequence number that should be in that particular index, then sends a request for that frame.

Using this approach, all scenarios are eventually handled; packets arriving in perfect sequence, packets arriving out of order, packets that are out of bounds in the current window, and packets that never arrived at all. Because of the double-checking on both sides, the specific frames needed to complete the message will eventually arrive on the receiving end.

Running the example program:

```
$ cd lab3
$ gcc -g -o main main.c utp.c -lssl -lcrypto -pthread
$ ./main
UTP Interface Simulation Help:
./main server [-flags]
./main client <address> [-flags]
-wsize <num>: Window size
-psize <num>: Payload size
-port <num>: Port number
-error <num>: Error sim percent
-timer <num>: Timeout in usec

$ ./main server -error 50 -wsize 6 -psize 4 -timer 20000
> Window: 6 frames. Frame: 52 bytes. Payload: 4 bytes. Error: 50%. Timeout: 20000 usec.

$ ./main client 127.0.0.1
> Window: 16 frames. Frame: 80 bytes. Payload: 32 bytes. Error: 0%. Timeout: 60000 usec.
```

Example (1a) sending a message in perfect sequence:

Initial sequence: 00189. Window: 6 frames. Frame: 52 bytes. Payload: 4 bytes.

Verbose printout notation:

< IN | OUT> [frame] [time] [sequence] [msg]

Hello world. This is a packet transmission example with 0% error rate.

```
<___ | MSG> +000 00186 00057 Hell
<___ | MSG> +001 00218 00058 o wo
<___ | MSG> +002 00224 00059 rld.
<___ | MSG> +003 00230 00060 Thi
<___ | MSG> +004 00235 00061 s is
<___ | MSG> +005 00241 00062 a p
<ACK | ___> +000 00230 00057
<___ | MSG> +005 00255 00063 acke
<ACK | ___> +000 00245 00058
<___ | MSG> +005 00012 00064 t tr
<ACK | ___> +000 00255 00059
<___ | MSG> +005 00026 00065 ansm
<ACK | ___> +000 00009 00060
<___ | MSG> +005 00038 00066 issi
<ACK | ___> +000 00019 00061
<___ | MSG> +005 00051 00067 on e
<ACK | ___> +000 00029 00062
<___ | MSG> +005 00064 00068 xamp
<ACK | ___> +000 00038 00063
<___ | MSG> +005 00077 00069 le w
<ACK | ___> +000 00048 00064
<___ | MSG> +005 00089 00070 ith
<ACK | ___> +000 00058 00065
<___ | MSG> +005 00102 00071 0% e
<ACK | ___> +000 00068 00066
<___ | MSG> +005 00114 00072 rror
<ACK | ___> +000 00077 00067
<___ | MSG> +005 00127 00073 rat
<ACK | ___> +000 00087 00068
<___ | END> +005 00139 00074 e.
<ACK | ___> +000 00097 00069
<ACK | ___> +000 00107 00070
<ACK | ___> +000 00117 00071
<ACK | ___> +000 00127 00072
<ACK | ___> +000 00137 00073
<ACK | ___> +000 00158 00074
```

Example (1b) receiving and acknowledging a message in perfect sequence:

Initial sequence: 00056. Window: 6 frames. Frame: 52 bytes. Payload: 4 bytes.

Verbose printout notation:

< IN | OUT> [frame] [time] [sequence] [msg]

<MSG | ACK> +000 00186 00057 Hell
<MSG | ACK> +000 00218 00058 o wo
<MSG | ACK> +000 00224 00059 rld.
<MSG | ACK> +000 00230 00060 Thi
<MSG | ACK> +000 00235 00061 s is
<MSG | ACK> +000 00241 00062 a p
<MSG | ACK> +000 00255 00063 acke
<MSG | ACK> +000 00012 00064 t tr
<MSG | ACK> +000 00026 00065 ansm
<MSG | ACK> +000 00038 00066 issi
<MSG | ACK> +000 00051 00067 on e
<MSG | ACK> +000 00064 00068 xamp
<MSG | ACK> +000 00077 00069 le w
<MSG | ACK> +000 00089 00070 ith
<MSG | ACK> +000 00102 00071 0% e
<MSG | ACK> +000 00114 00072 rror
<MSG | ACK> +000 00127 00073 rat
<END | ACK> +000 00139 00074 e.

> Hello world. This is a packet transmission example with 0% error rate.

Example (2a) sending a message where roughly half of the packets are lost in both directions, with low timeout:

```
$ ./main connect 127.0.0.1 -error 50 -wsize 6 -psize 4
-----
50% chance to go bonkers. Local timeout in usec: 60000
-----
Initial sequence: 00083. Window: 6 frames. Frame: 52 bytes. Payload: 4 bytes.
-----
Verbose printout notation:
< IN | OUT> [frame] [time] [sequence] [msg]
-----
Hello world. This is a packet transmission example with 50% error rate.
<___ | MSG> +000 00253 00084 Hell
<___ | MSG> +001 00048 00085 o wo
<___ | MSG> +002 00062 00086 rld.
<___ | MSG> +003 00081 00087 Thi
<___ | MSG> +004 00102 00088 s is
<___ | MSG> +005 00118 00089 a p
<ACK | ___> +000 00105 00084
<___ | MSG> +005 00155 00090 acke
<ACK | ___> +003 00181 00088
<ACK | ___> +005 00250 00090
<REQ | MSG> +000 00010 00085
<REQ | MSG> +001 00043 00086
<REQ | MSG> +003 00085 00088
<REQ | MSG> +004 00103 00089
<ACK | ___> -085 00161 00000
<REQ | MSG> +001 00187 00086
<REQ | MSG> +002 00212 00087
<REQ | MSG> +004 00239 00089
<REQ | MSG> +003 00084 00088
<REQ | MSG> +005 00118 00090
<ACK | ___> -085 00228 00000
<___ | RES> +000 00062 00085 o wo
<REQ | MSG> +001 00103 00086
<REQ | MSG> +002 00195 00087
<REQ | MSG> +003 00046 00088
<ACK | ___> -085 00167 00000
<REQ | MSG> +002 00032 00087
<REQ | MSG> +003 00124 00088
<REQ | MSG> +001 00183 00086
<REQ | MSG> +003 00044 00088
<REQ | MSG> +004 00061 00089
<REQ | MSG> +005 00073 00090
<ACK | ___> -085 00179 00000
```

```

<ACK | ___> -085 00241 00000
<___ | RES> +000 00202 00085 o wo
<REQ | MSG> +000 00215 00085
<REQ | MSG> +002 00031 00087
<REQ | MSG> +004 00077 00089
<REQ | MSG> +005 00096 00090
<ACK | ___> -085 00209 00000
<ACK | ___> -085 00000 00000
<REQ | MSG> +002 00250 00087
<REQ | MSG> +003 00057 00088
<ACK | ___> -085 00218 00000
<REQ | MSG> +002 00233 00087
<REQ | MSG> +003 00019 00088
<REQ | MSG> +005 00042 00090
<REQ | MSG> +003 00073 00088
<REQ | MSG> +004 00083 00089
<REQ | MSG> +005 00092 00090
<___ | RES> +000 00057 00085 o wo
<REQ | MSG> +004 00073 00089
<___ | RES> +000 00029 00085 o wo
<REQ | MSG> +003 00008 00088
<REQ | MSG> +004 00055 00089
<REQ | MSG> +005 00071 00090
<ACK | ___> -085 00151 00000
<REQ | MSG> +003 00037 00088
<ACK | ___> -085 00099 00000
<REQ | MSG> +002 00227 00087
<REQ | MSG> +003 00022 00088
<REQ | MSG> +004 00027 00089
<REQ | MSG> +005 00035 00090
<ACK | ___> -085 00134 00000
<ACK | ___> -085 00181 00000
<___ | RES> +000 00213 00085 o wo
<REQ | MSG> +002 00172 00087
<REQ | MSG> +005 00204 00090
<REQ | MSG> +003 00163 00088
<REQ | MSG> +004 00172 00089
<REQ | MSG> +005 00178 00090
<ACK | ___> -085 00227 00000
<ACK | ___> -085 00002 00000
<REQ | MSG> +002 00099 00087
<REQ | MSG> +003 00164 00088
<___ | RES> +000 00112 00085 o wo
<ACK | ___> +000 00144 00085
<___ | MSG> +005 00195 00091 t tr
<REQ | MSG> +001 00074 00087

```



```

<REQ | MSG> +002 00114 00088
<___ | RES> +000 00062 00086 rld.
<REQ | MSG> +002 00040 00088
<REQ | MSG> +003 00075 00089
<REQ | MSG> +004 00098 00090
<ACK | ___> -086 00182 00000
<REQ | MSG> +001 00040 00087
<REQ | MSG> +002 00091 00088
<REQ | MSG> +004 00115 00090
<ACK | ___> -086 00179 00000
<REQ | MSG> +002 00136 00088
<REQ | MSG> +003 00144 00089
<___ | RES> +000 00021 00086 rld.
<REQ | MSG> +002 00082 00088
<REQ | MSG> +003 00119 00089
<REQ | MSG> +003 00198 00089
<REQ | MSG> +004 00211 00090
<REQ | MSG> +002 00095 00088
<REQ | MSG> +003 00127 00089
<REQ | MSG> +004 00135 00090
<REQ | MSG> +005 00141 00091
<___ | RES> +000 00023 00086 rld.
<REQ | MSG> +001 00069 00087
<REQ | MSG> +004 00176 00090
<REQ | MSG> +001 00109 00087
<REQ | MSG> +005 00183 00091
<REQ | MSG> +005 00193 00091
<___ | RES> +000 00023 00086 rld.
<REQ | MSG> +003 00135 00089
<REQ | MSG> +002 00086 00088
<REQ | MSG> +004 00131 00090
<REQ | MSG> +005 00148 00091
<ACK | ___> -086 00210 00000
<ACK | ___> -086 00229 00000
<REQ | MSG> +003 00101 00089
<REQ | MSG> +005 00155 00091
<___ | RES> +000 00044 00086 rld.
<REQ | MSG> +001 00064 00087
<REQ | MSG> +002 00118 00088
<REQ | MSG> +005 00171 00091
<REQ | MSG> +002 00063 00088
<REQ | MSG> +003 00089 00089
<ACK | ___> -086 00140 00000
<REQ | MSG> +002 00009 00088
<REQ | MSG> +003 00060 00089
<REQ | MSG> +004 00074 00090

```

```

<REQ | MSG> +005 00090 00091
<ACK | ___> -086 00159 00000
<ACK | ___> -086 00194 00000
<___ | RES> +000 00248 00086 rld.
<ACK | ___> +000 00042 00086
<___ | MSG> +005 00083 00092 ansm
<REQ | MSG> +002 00071 00089
<REQ | MSG> +003 00106 00090
<REQ | MSG> +004 00138 00091
<ACK | ___> -087 00228 00000
<___ | RES> +000 00081 00087 Thi
<ACK | ___> +000 00052 00087
<___ | MSG> +004 00102 00093 issi
<___ | MSG> +005 00106 00094 on e
<___ | RES> +000 00118 00089 a p
<___ | RES> +000 00188 00089 a p
<___ | RES> +000 00240 00089 a p
<ACK | ___> +000 00050 00089
<___ | MSG> +004 00091 00095 xamp
<___ | MSG> +005 00107 00096 le w
<ACK | ___> +005 00138 00096
<REQ | MSG> +003 00061 00094
<REQ | MSG> +005 00073 00096
<___ | RES> +000 00195 00091 t tr
<REQ | MSG> +001 00192 00092
<REQ | MSG> +002 00234 00093
<REQ | MSG> +004 00255 00095
<REQ | MSG> +005 00013 00096
<ACK | ___> -091 00127 00000
<REQ | MSG> +001 00202 00092
<REQ | MSG> +002 00039 00093
<REQ | MSG> +003 00050 00094
<REQ | MSG> +005 00066 00096
<ACK | ___> -091 00232 00000
<ACK | ___> -091 00249 00000
<REQ | MSG> +004 00225 00095
<___ | RES> +000 00193 00091 t tr
<REQ | MSG> +004 00010 00095
<REQ | MSG> +005 00021 00096
<REQ | MSG> +001 00135 00092
<REQ | MSG> +004 00184 00095
<ACK | ___> -091 00218 00000
<REQ | MSG> +002 00086 00093
<REQ | MSG> +004 00204 00095
<REQ | MSG> +005 00213 00096
<ACK | ___> -091 00064 00000

```

```

<ACK | ___> -091 00098 00000
<___ | RES> +000 00075 00091 t tr
<REQ | MSG> +002 00145 00093
<REQ | MSG> +003 00183 00094
<REQ | MSG> +004 00195 00095
<ACK | ___> -091 00005 00000
<ACK | ___> -091 00023 00000
<REQ | MSG> +001 00071 00092
<REQ | MSG> +002 00105 00093
<REQ | MSG> +005 00120 00096
<ACK | ___> -091 00207 00000
<ACK | ___> -091 00222 00000
<REQ | MSG> +001 00020 00092
<REQ | MSG> +004 00117 00095
<REQ | MSG> +005 00134 00096
<ACK | ___> -091 00230 00000
<ACK | ___> -091 00009 00000
<___ | RES> +000 00167 00091 t tr
<REQ | MSG> +001 00037 00092
<REQ | MSG> +002 00087 00093
<REQ | MSG> +005 00099 00096
<REQ | MSG> +001 00214 00092
<REQ | MSG> +002 00242 00093
<REQ | MSG> +004 00002 00095
<REQ | MSG> +002 00193 00093
<REQ | MSG> +003 00207 00094
<REQ | MSG> +004 00219 00095
<REQ | MSG> +005 00001 00096
<ACK | ___> -091 00046 00000
<___ | RES> +000 00029 00091 t tr
<REQ | MSG> +003 00172 00094
<REQ | MSG> +004 00184 00095
<REQ | MSG> +005 00194 00096
<REQ | MSG> +002 00139 00093
<REQ | MSG> +003 00238 00094
<REQ | MSG> +004 00254 00095
<ACK | ___> -091 00092 00000
<ACK | ___> -091 00126 00000
<___ | RES> +000 00204 00091 t tr
<ACK | ___> +000 00189 00091
<___ | MSG> +005 00224 00097 ith
<ACK | ___> +005 00246 00097
<REQ | MSG> +001 00182 00093
<REQ | MSG> +002 00222 00094
<REQ | MSG> +003 00236 00095
<REQ | MSG> +004 00251 00096

```

```

<REQ | MSG> +005 00008 00097
<___ | RES> +000 00083 00092 ansm
<REQ | MSG> +002 00236 00094
<REQ | MSG> +003 00072 00095
<REQ | MSG> +004 00085 00096
<ACK | ___> -092 00191 00000
<REQ | MSG> +002 00058 00094
<REQ | MSG> +004 00074 00096
<REQ | MSG> +005 00082 00097
<ACK | ___> -092 00135 00000
<REQ | MSG> +002 00127 00094
<___ | RES> +000 00095 00092 ansm
<REQ | MSG> +001 00046 00093
<REQ | MSG> +002 00080 00094
<REQ | MSG> +004 00099 00096
<ACK | ___> -092 00183 00000
<REQ | MSG> +004 00126 00096
<REQ | MSG> +000 00063 00092
<REQ | MSG> +001 00102 00093
<REQ | MSG> +002 00114 00094
<REQ | MSG> +003 00122 00095
<REQ | MSG> +004 00130 00096
<REQ | MSG> +005 00138 00097
<REQ | MSG> +002 00076 00094
<REQ | MSG> +003 00090 00095
<REQ | MSG> +005 00109 00097
<REQ | MSG> +001 00239 00093
<REQ | MSG> +003 00022 00095
<REQ | MSG> +004 00034 00096
<REQ | MSG> +005 00044 00097
<ACK | ___> -092 00073 00000
<REQ | MSG> +001 00210 00093
<REQ | MSG> +003 00057 00095
<REQ | MSG> +004 00076 00096
<ACK | ___> -092 00164 00000
<___ | RES> +000 00130 00092 ansm
<ACK | ___> +000 00070 00092
<___ | MSG> +005 00117 00098 50%
<REQ | MSG> +000 00023 00093
<REQ | MSG> +001 00064 00094
<REQ | MSG> +002 00076 00095
<REQ | MSG> +003 00084 00096
<REQ | MSG> +004 00091 00097
<ACK | ___> +000 00125 00093
<___ | MSG> +005 00179 00099 erro
<ACK | ___> -094 00180 00000

```

```

<___ | RES> +000 00106 00094 on e
<REQ | MSG> +001 00240 00095
<REQ | MSG> +002 00031 00096
<REQ | MSG> +003 00046 00097
<ACK | ___> -094 00122 00000
<REQ | MSG> +000 00237 00094
<REQ | MSG> +003 00122 00097
<ACK | ___> -094 00017 00000
<REQ | MSG> +002 00096 00096
<REQ | MSG> +003 00109 00097
<REQ | MSG> +002 00134 00096
<REQ | MSG> +003 00159 00097
<REQ | MSG> +000 00089 00094
<___ | RES> +000 00184 00094 on e
<ACK | ___> +000 00032 00094
<___ | MSG> +005 00061 00100 r ra
<___ | RES> +000 00091 00095 xamp
<___ | RES> +000 00211 00095 xamp
<ACK | ___> +000 00213 00095
<___ | END> +003 00243 00101 te.
<ACK | ___> +003 00014 00101
<REQ | MSG> +000 00253 00098
<REQ | MSG> +003 00024 00101
<REQ | MSG> +000 00143 00098
<REQ | MSG> +002 00181 00100
<ACK | ___> +000 00226 00098
<ACK | ___> -099 00248 00000
<___ | RES> +000 00179 00099 erro
<ACK | ___> +000 00012 00099
<REQ | MSG> +000 00114 00100
<REQ | MSG> +001 00162 00101
<___ | RES> +000 00202 00100 r ra
<___ | RES> +000 00142 00100 r ra
<___ | RES> +000 00183 00100 r ra
<___ | RES> +000 00250 00100 r ra
<___ | RES> +000 00039 00100 r ra
<___ | RES> +000 00059 00100 r ra
<___ | RES> +000 00079 00100 r ra
<___ | RES> +000 00109 00100 r ra
<___ | RES> +000 00130 00100 r ra
<___ | RES> +000 00053 00100 r ra
<ACK | ___> +000 00020 00100

```

Example (2b): receiving a message where roughly half of the packets are lost in both directions, with low timeout:

```
$ ./main server -error 50 -wsize 6
-----
50% chance to go bonkers. Local timeout in usec: 60000
-----
Initial sequence: 00083. Window: 6 frames. Frame: 52 bytes. Payload: 4 bytes.
-----
Verbose printout notation:
< IN | OUT> [frame] [time] [sequence] [msg]
-----
<MSG | ACK> +000 00253 00084 Hell
<MSG | ACK> +001 00062 00086 rld.
<MSG | ACK> +003 00102 00088 s is
<MSG | ACK> +004 00118 00089 a p
<MSG | ACK> +005 00155 00090 acke
<___ | NAK> +000 00250 00085
<___ | NAK> +001 00010 00086
<___ | NAK> +002 00043 00087
<___ | NAK> +003 00061 00088
<___ | NAK> +004 00085 00089
<___ | NAK> +005 00103 00090
<MSG | ACK> -085 00113 00000
<MSG | ACK> -085 00161 00000
<___ | NAK> +000 00192 00085
<___ | NAK> +001 00140 00086
<___ | NAK> +002 00187 00087
<___ | NAK> +003 00212 00088
<___ | NAK> +004 00232 00089
<___ | NAK> +005 00239 00090
<MSG | ACK> -085 00250 00000
<___ | NAK> +000 00048 00085
<___ | NAK> +001 00205 00086
<___ | NAK> +002 00037 00087
<___ | NAK> +003 00072 00088
<___ | NAK> +004 00084 00089
<___ | NAK> +005 00108 00090
<MSG | ACK> -085 00138 00000
<MSG | ACK> -085 00186 00000
<___ | NAK> +000 00228 00085
<___ | NAK> +001 00000 00086
<___ | NAK> +002 00103 00087
<___ | NAK> +003 00195 00088
<___ | NAK> +004 00046 00089
<___ | NAK> +005 00077 00090
```

```

<MSG | ACK> -085 00153 00000
<___ | NAK> +000 00101 00085
<___ | NAK> +001 00227 00086
<___ | NAK> +002 00020 00087
<___ | NAK> +003 00032 00088
<___ | NAK> +004 00124 00089
<___ | NAK> +005 00189 00090
<___ | NAK> +000 00055 00085
<___ | NAK> +001 00157 00086
<___ | NAK> +002 00183 00087
<___ | NAK> +003 00038 00088
<___ | NAK> +004 00044 00089
<___ | NAK> +005 00061 00090
<MSG | ACK> -085 00107 00000
<MSG | ACK> -085 00167 00000
<___ | NAK> +000 00241 00085
<___ | NAK> +001 00215 00086
<___ | NAK> +002 00016 00087
<___ | NAK> +003 00031 00088
<___ | NAK> +004 00069 00089
<___ | NAK> +005 00077 00090
<MSG | ACK> +000 00057 00085 o wo
<MSG | ACK> -087 00115 00000
<MSG | ACK> -087 00133 00000
<___ | NAK> +000 00000 00087
<___ | NAK> +001 00250 00088
<___ | NAK> +002 00057 00089
<___ | NAK> +003 00074 00090
<MSG | ACK> -087 00089 00000
<___ | NAK> +000 00161 00087
<___ | NAK> +001 00233 00088
<___ | NAK> +002 00019 00089
<___ | NAK> +003 00035 00090
<MSG | ACK> -087 00111 00000
<___ | NAK> +000 00136 00087
<___ | NAK> +001 00246 00088
<___ | NAK> +002 00073 00089
<___ | NAK> +003 00083 00090
<MSG | ACK> -087 00157 00000
<MSG | ACK> -087 00172 00000
<___ | NAK> +000 00240 00087
<___ | NAK> +001 00018 00088
<___ | NAK> +002 00053 00089
<___ | NAK> +003 00058 00090
<___ | NAK> +000 00062 00087
<___ | NAK> +001 00250 00088

```

```

<___ | NAK> +002 00070 00089
<___ | NAK> +003 00073 00090
<___ | NAK> +000 00080 00087
<___ | NAK> +001 00004 00088
<___ | NAK> +002 00044 00089
<___ | NAK> +003 00061 00090
<___ | NAK> +000 00066 00087
<___ | NAK> +001 00249 00088
<___ | NAK> +002 00008 00089
<___ | NAK> +003 00055 00090
<MSG | ACK> -087 00093 00000
<MSG | ACK> -087 00137 00000
<___ | NAK> +000 00193 00087
<___ | NAK> +001 00253 00088
<___ | NAK> +002 00037 00089
<___ | NAK> +003 00049 00090
<MSG | ACK> -087 00067 00000
<___ | NAK> +000 00099 00087
<___ | NAK> +001 00227 00088
<___ | NAK> +002 00022 00089
<___ | NAK> +003 00027 00090
<MSG | ACK> -087 00056 00000
<MSG | ACK> -087 00073 00000
<MSG | ACK> -087 00083 00000
<MSG | ACK> -087 00092 00000
<___ | NAK> +000 00112 00087
<___ | NAK> +001 00172 00088
<___ | NAK> +002 00187 00089
<___ | NAK> +003 00196 00090
<MSG | ACK> -087 00205 00000
<___ | NAK> +000 00232 00087
<___ | NAK> +001 00118 00088
<___ | NAK> +002 00163 00089
<___ | NAK> +003 00172 00090
<MSG | ACK> -087 00202 00000
<MSG | ACK> -087 00219 00000
<___ | NAK> +000 00236 00087
<___ | NAK> +001 00099 00088
<___ | NAK> +002 00164 00089
<___ | NAK> +003 00178 00090
<MSG | ACK> -087 00185 00000
<MSG | ACK> -087 00207 00000
<MSG | ACK> -002 00024 00085 o wo
<MSG | ACK> +004 00195 00091 t tr
<___ | NAK> +000 00230 00087
<___ | NAK> +001 00074 00088

```



```

<___ | NAK> +002 00114 00089
<___ | NAK> +003 00125 00090
<___ | NAK> +004 00135 00091
<MSG | ACK> -001 00021 00086 rld.
<___ | NAK> +000 00168 00087
<___ | NAK> +001 00036 00088
<___ | NAK> +002 00040 00089
<___ | NAK> +003 00075 00090
<___ | NAK> +004 00098 00091
<MSG | ACK> -087 00099 00000
<MSG | ACK> -087 00151 00000
<___ | NAK> +000 00226 00087
<___ | NAK> +001 00040 00088
<___ | NAK> +002 00091 00089
<___ | NAK> +003 00103 00090
<___ | NAK> +004 00115 00091
<MSG | ACK> -087 00129 00000
<___ | NAK> +000 00210 00087
<___ | NAK> +001 00051 00088
<___ | NAK> +002 00136 00089
<___ | NAK> +003 00144 00090
<___ | NAK> +004 00151 00091
<MSG | ACK> -087 00187 00000
<MSG | ACK> -087 00216 00000
<MSG | ACK> -001 00023 00086 rld.
<___ | NAK> +000 00085 00087
<___ | NAK> +001 00077 00088
<___ | NAK> +002 00082 00089
<___ | NAK> +003 00119 00090
<___ | NAK> +004 00131 00091
<___ | NAK> +000 00139 00087
<___ | NAK> +001 00074 00088
<___ | NAK> +002 00193 00089
<___ | NAK> +003 00198 00090
<___ | NAK> +004 00211 00091
<___ | NAK> +000 00001 00087
<___ | NAK> +001 00089 00088
<___ | NAK> +002 00095 00089
<___ | NAK> +003 00127 00090
<___ | NAK> +004 00135 00091
<MSG | ACK> -001 00023 00086 rld.
<___ | NAK> +000 00184 00087
<___ | NAK> +001 00069 00088
<___ | NAK> +002 00160 00089
<___ | NAK> +003 00165 00090
<___ | NAK> +004 00176 00091

```

```

<___ | NAK> +000 00000 00087
<___ | NAK> +001 00109 00088
<___ | NAK> +002 00144 00089
<___ | NAK> +003 00154 00090
<___ | NAK> +004 00160 00091
<___ | NAK> +000 00185 00087
<___ | NAK> +001 00088 00088
<___ | NAK> +002 00176 00089
<___ | NAK> +003 00179 00090
<___ | NAK> +004 00187 00091
<___ | NAK> +000 00244 00087
<___ | NAK> +001 00079 00088
<___ | NAK> +002 00091 00089
<___ | NAK> +003 00135 00090
<___ | NAK> +004 00164 00091
<MSG | ACK> -087 00186 00000
<___ | NAK> +000 00223 00087
<___ | NAK> +001 00080 00088
<___ | NAK> +002 00086 00089
<___ | NAK> +003 00123 00090
<___ | NAK> +004 00131 00091
<MSG | ACK> -087 00161 00000
<MSG | ACK> -087 00189 00000
<MSG | ACK> -087 00210 00000
<___ | NAK> +000 00229 00087
<___ | NAK> +001 00050 00088
<___ | NAK> +002 00056 00089
<___ | NAK> +003 00101 00090
<___ | NAK> +004 00136 00091
<MSG | ACK> -001 00248 00086 rld.
<___ | NAK> +000 00080 00087
<___ | NAK> +001 00064 00088
<___ | NAK> +002 00118 00089
<___ | NAK> +003 00136 00090
<___ | NAK> +004 00155 00091
<MSG | ACK> -087 00233 00000
<___ | NAK> +000 00012 00087
<___ | NAK> +001 00059 00088
<___ | NAK> +002 00063 00089
<___ | NAK> +003 00089 00090
<___ | NAK> +004 00098 00091
<MSG | ACK> -087 00113 00000
<MSG | ACK> -087 00134 00000
<___ | NAK> +000 00157 00087
<___ | NAK> +001 00253 00088
<___ | NAK> +002 00009 00089

```

```

<___ | NAK> +003 00060 00090
<___ | NAK> +004 00074 00091
<MSG | ACK> -087 00092 00000
<MSG | ACK> -087 00122 00000
<MSG | ACK> -087 00158 00000
<MSG | ACK> -001 00234 00086 rld.
<___ | NAK> +000 00083 00087
<___ | NAK> +001 00003 00088
<___ | NAK> +002 00010 00089
<___ | NAK> +003 00071 00090
<___ | NAK> +004 00106 00091
<MSG | ACK> -087 00166 00000
<MSG | ACK> +000 00217 00087 Thi
<MSG | ACK> -003 00188 00089 a p
<MSG | ACK> -003 00240 00089 a p
<MSG | ACK> -003 00238 00089 a p
<MSG | ACK> +003 00091 00095 xamp
<MSG | ACK> +004 00107 00096 le w
<___ | NAK> +000 00138 00092
<___ | NAK> +001 00254 00093
<___ | NAK> +002 00042 00094
<___ | NAK> +003 00061 00095
<___ | NAK> +004 00069 00096
<MSG | ACK> -092 00086 00000
<MSG | ACK> -092 00112 00000
<___ | NAK> +000 00127 00092
<___ | NAK> +001 00192 00093
<___ | NAK> +002 00234 00094
<___ | NAK> +003 00248 00095
<___ | NAK> +004 00255 00096
<MSG | ACK> -092 00095 00000
<___ | NAK> +000 00127 00092
<___ | NAK> +001 00202 00093
<___ | NAK> +002 00039 00094
<___ | NAK> +003 00050 00095
<___ | NAK> +004 00056 00096
<MSG | ACK> -092 00158 00000
<MSG | ACK> -092 00185 00000
<___ | NAK> +000 00202 00092
<___ | NAK> +001 00183 00093
<___ | NAK> +002 00213 00094
<___ | NAK> +003 00219 00095
<___ | NAK> +004 00225 00096
<___ | NAK> +000 00231 00092
<___ | NAK> +001 00148 00093
<___ | NAK> +002 00244 00094

```

<_ _ _	NAK>	+003	00003	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00010	00096
<_ _ _	NAK>	+000	00021	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00135	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00169	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00180	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00184	00096
<MSG	ACK>	-092	00192	00000
<MSG	ACK>	-092	00224	00000
<_ _ _	NAK>	+000	00244	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00073	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00086	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00188	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00204	00096
<MSG	ACK>	-092	00255	00000
<MSG	ACK>	-092	00053	00000
<_ _ _	NAK>	+000	00167	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00140	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00145	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00183	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00195	00096
<MSG	ACK>	-092	00204	00000
<MSG	ACK>	-092	00230	00000
<_ _ _	NAK>	+000	00245	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00071	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00105	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00111	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00114	00096
<MSG	ACK>	-092	00160	00000
<MSG	ACK>	-092	00187	00000
<_ _ _	NAK>	+000	00222	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00020	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00106	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00113	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00117	00096
<MSG	ACK>	-092	00207	00000
<MSG	ACK>	-092	00229	00000
<_ _ _	NAK>	+000	00009	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00037	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00087	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00094	00095
<_ _ _	NAK>	+004	00096	00096
<_ _ _	NAK>	+000	00099	00092
<_ _ _	NAK>	+001	00214	00093
<_ _ _	NAK>	+002	00242	00094
<_ _ _	NAK>	+003	00251	00095

```

<___ | NAK> +004 00002 00096
<MSG | ACK> -092 00063 00000
<___ | NAK> +000 00086 00092
<___ | NAK> +001 00150 00093
<___ | NAK> +002 00193 00094
<___ | NAK> +003 00207 00095
<___ | NAK> +004 00219 00096
<MSG | ACK> -092 00223 00000
<___ | NAK> +000 00050 00092
<___ | NAK> +001 00203 00093
<___ | NAK> +002 00108 00094
<___ | NAK> +003 00128 00095
<___ | NAK> +004 00168 00096
<___ | NAK> +000 00199 00092
<___ | NAK> +001 00120 00093
<___ | NAK> +002 00127 00094
<___ | NAK> +003 00172 00095
<___ | NAK> +004 00184 00096
<MSG | ACK> -092 00240 00000
<MSG | ACK> -092 00037 00000
<___ | NAK> +000 00070 00092
<___ | NAK> +001 00131 00093
<___ | NAK> +002 00139 00094
<___ | NAK> +003 00238 00095
<___ | NAK> +004 00254 00096
<MSG | ACK> -092 00038 00000
<MSG | ACK> -092 00076 00000
<MSG | ACK> -001 00119 00091 t tr
<MSG | ACK> +005 00224 00097 ith
<___ | NAK> +000 00246 00092
<___ | NAK> +001 00171 00093
<___ | NAK> +002 00182 00094
<___ | NAK> +003 00222 00095
<___ | NAK> +004 00236 00096
<___ | NAK> +005 00251 00097
<MSG | ACK> -092 00033 00000
<MSG | ACK> -092 00118 00000
<___ | NAK> +000 00095 00092
<___ | NAK> +001 00203 00093
<___ | NAK> +002 00231 00094
<___ | NAK> +003 00236 00095
<___ | NAK> +004 00072 00096
<___ | NAK> +005 00085 00097
<MSG | ACK> -092 00136 00000
<___ | NAK> +000 00176 00092
<___ | NAK> +001 00013 00093

```

```

<___ | NAK> +002 00049 00094
<___ | NAK> +003 00058 00095
<___ | NAK> +004 00066 00096
<___ | NAK> +005 00074 00097
<MSG | ACK> -092 00102 00000
<___ | NAK> +000 00119 00092
<___ | NAK> +001 00012 00093
<___ | NAK> +002 00123 00094
<___ | NAK> +003 00127 00095
<___ | NAK> +004 00146 00096
<___ | NAK> +005 00149 00097
<___ | NAK> +000 00113 00092
<___ | NAK> +001 00041 00093
<___ | NAK> +002 00046 00094
<___ | NAK> +003 00080 00095
<___ | NAK> +004 00092 00096
<___ | NAK> +005 00099 00097
<MSG | ACK> -092 00150 00000
<___ | NAK> +000 00183 00092
<___ | NAK> +001 00011 00093
<___ | NAK> +002 00024 00094
<___ | NAK> +003 00076 00095
<___ | NAK> +004 00106 00096
<___ | NAK> +005 00126 00097
<___ | NAK> +000 00159 00092
<___ | NAK> +001 00063 00093
<___ | NAK> +002 00102 00094
<___ | NAK> +003 00114 00095
<___ | NAK> +004 00122 00096
<___ | NAK> +005 00130 00097
<MSG | ACK> +000 00130 00092 ansm
<MSG | ACK> -093 00211 00000
<___ | NAK> +000 00227 00093
<___ | NAK> +001 00027 00094
<___ | NAK> +002 00076 00095
<___ | NAK> +003 00090 00096
<___ | NAK> +004 00102 00097
<MSG | ACK> -093 00145 00000
<MSG | ACK> -093 00181 00000
<___ | NAK> +000 00208 00093
<___ | NAK> +001 00239 00094
<___ | NAK> +002 00014 00095
<___ | NAK> +003 00022 00096
<___ | NAK> +004 00034 00097
<MSG | ACK> -093 00045 00000
<MSG | ACK> -093 00066 00000

```

```

<___ | NAK> +000 00089 00093
<___ | NAK> +001 00210 00094
<___ | NAK> +002 00032 00095
<___ | NAK> +003 00057 00096
<___ | NAK> +004 00076 00097
<MSG | ACK> -093 00129 00000
<MSG | ACK> -001 00198 00092 ansm
<___ | NAK> +000 00070 00093
<___ | NAK> +001 00023 00094
<___ | NAK> +002 00064 00095
<___ | NAK> +003 00076 00096
<___ | NAK> +004 00084 00097
<MSG | ACK> +000 00091 00093 issi
<MSG | ACK> -094 00118 00000
<MSG | ACK> -094 00162 00000
<___ | NAK> +000 00179 00094
<___ | NAK> +001 00230 00095
<___ | NAK> +002 00240 00096
<___ | NAK> +003 00031 00097
<MSG | ACK> -094 00070 00000
<MSG | ACK> -094 00104 00000
<___ | NAK> +000 00123 00094
<___ | NAK> +001 00237 00095
<___ | NAK> +002 00070 00096
<___ | NAK> +003 00095 00097
<MSG | ACK> -094 00187 00000
<___ | NAK> +000 00017 00094
<___ | NAK> +001 00034 00095
<___ | NAK> +002 00048 00096
<___ | NAK> +003 00096 00097
<___ | NAK> +000 00109 00094
<___ | NAK> +001 00044 00095
<___ | NAK> +002 00125 00096
<___ | NAK> +003 00134 00097
<MSG | ACK> -094 00198 00000
<MSG | ACK> -094 00242 00000
<___ | NAK> +000 00067 00094
<___ | NAK> +001 00089 00095
<___ | NAK> +002 00135 00096
<___ | NAK> +003 00146 00097
<MSG | ACK> +000 00184 00094 on e
<MSG | ACK> -004 00229 00094 on e
<MSG | ACK> -003 00211 00095 xamp
<MSG | ACK> -003 00170 00095 xamp
<END | ACK> +003 00243 00101 te.
<___ | NAK> +000 00014 00098

```

```

<___ | NAK> +001 00253 00099
<___ | NAK> +002 00015 00100
<___ | NAK> +003 00021 00101
<___ | NAK> +000 00035 00098
<___ | NAK> +001 00143 00099
<___ | NAK> +002 00177 00100
<___ | NAK> +003 00181 00101
<MSG | ACK> +000 00195 00098 50%
<MSG | ACK> -099 00214 00000
<MSG | ACK> +000 00220 00099 erro
<___ | NAK> +000 00012 00100
<___ | NAK> +001 00114 00101
<MSG | ACK> +000 00202 00100 r ra
> Hello world. This is a packet transmission example with 50% error rate.
<MSG | ACK> -102 00231 00000
<MSG | ACK> -002 00250 00100 r ra
<MSG | ACK> -002 00059 00100 r ra
<MSG | ACK> -002 00130 00100 r ra
<MSG | ACK> -002 00202 00100 r ra

```