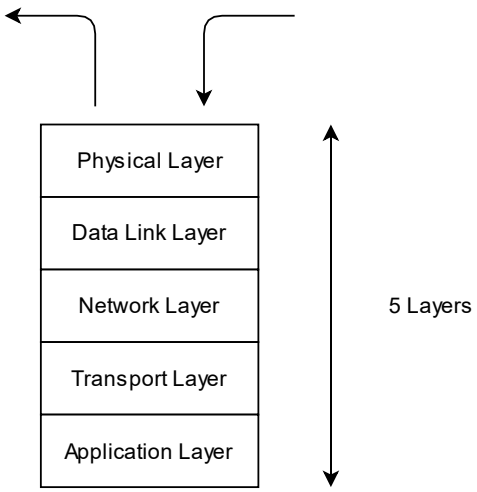
Use of Queues and Stacks

C++, like many other programming languages, has built-in implementations of a queue and a stack data structure, these are respectively called std::queue and std::stack. Besides these, there is also a double-ended queue called std::deque, and a priority queue called std::priority_queue.

Protocol Headers

Through some of your other classes, you are undoubtably familiar with the 5-layer network stack (Physical, Datalink, Network, Transport and Application). In this lab, we will build a simulation of a router in software, using stack and queue data structures.

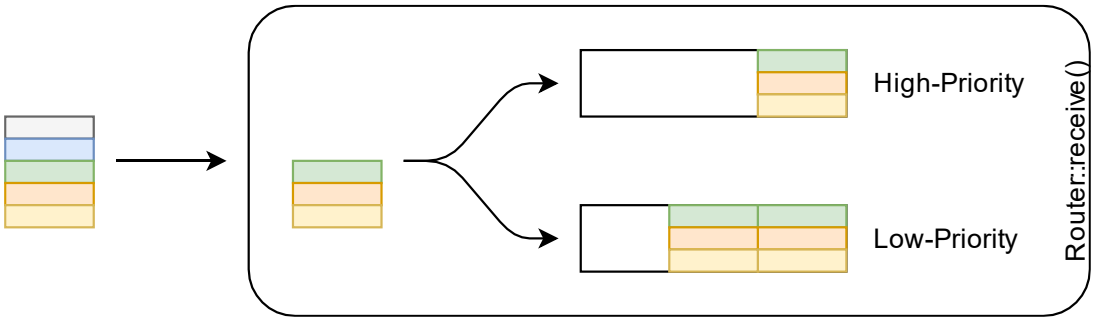


Code

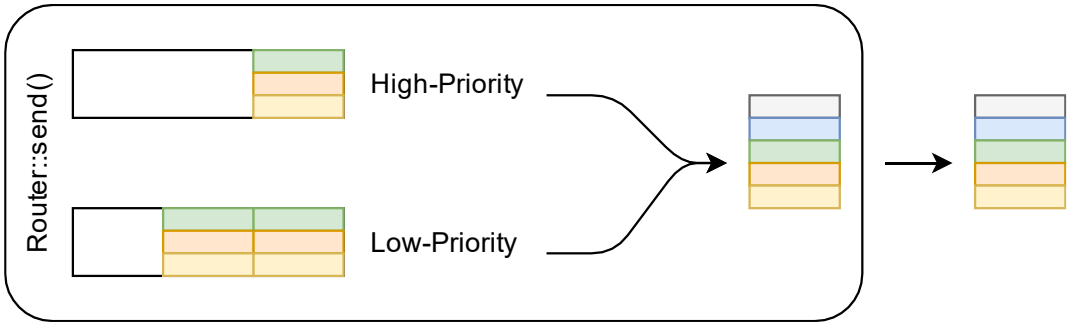
1. The first thing we'll need is a data structure to represent our network packets. For this, we will use a simple stack. Each element in the stack represents one layer of the 5-layer network stack. The application layer will be at the bottom of the stack, and the physical layer is at the top of the stack. This might sound counter-intuitive at first, but this way, we can pop-off headers in the correct order, without ever having to touch any of the other layers. To create this data structure, we will use a simple type alias. Create a type called "Packet" and alias it to a stack. Each "header" in our network stack will be represented by a single integer, to keep things simple. While the physical layer usually doesn't have headers in the real world, we will use our physical layer "header" to represent the type of physical layer (Optical, Copper, Wireless, ...).
2. Now that we have our "Packet" data structure, we need a function to easily generate packets. Create a function called "create_packet" that takes 5 integers as arguments, 1 for each layer of the network stack. This function should then create a "Packet" object and push the integers onto the stack in the correct order.
   You should also write some unit tests for "create_packet", you should check that the output stacks always has 5 elements, and that all elements are presentin the correct order.
3. Next, we will create a class called "Router". This class will represent a router in our network. A Router should have the following fields:
   - A physical layer type (an integer)
   - A MAC address (an integer)
   - A low-priority queue (std::queue<Packet>)
   - A high-priority queue (std::queue<Packet>)

   You should be able to set the MAC address and physical layer type in the constructor. Both queues should be initialized as empty in the constructor.

4. After creating the router class, we will add a method to the router for receiving a packet. This method should be called “receive”, and as an argument, it should take a “Packet&&”, the method doesn’t return anything. When the router receives a packet, the physical and data link layer headers should be popped off and the router should look at the network layer header. Specifically, it should look at the most significant bit in the network layer header. If this bit is 1, the packet should be placed in the high-priority queue. Otherwise, the packet should be placed in the low-priority queue.



5. Now that our router can receive packets, we should also make it capable of sending packets. Add a “send” method to your “Router” class. This method takes no arguments, and returns a std::optional<Packet>. When this method is called, the router should first check if there is anything in the high-priority queue. If there is, we send that packet. If the high-priority queue is empty, we take a packet from the low-priority queue. If both queues are empty, we return std::nullopt. After taking a packet from either queue, we need to add a new data link and physical header before sending the packet out again. For these headers, you can take the value of the Router’s MAC address and physical layer type, which you set in the constructor.



Report

1. In our “Router” class, can we replace both queues with a simple priority queue? Why, or why not?
2. In the “receive” method, you used std::optional to return “a value, or nothing”. The standard library also has a class for returning “one of many types” and “many types” in 1 object. What are they?
3. std::stack, std::queue and std::priority_queue are container adaptors, while std::vector, std::list and std::map are containers. What is the difference between a container adaptor and a container?

Extra

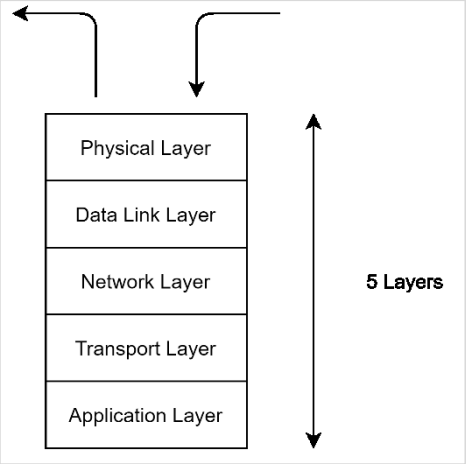
1. Make a change to the “receive” method. Your queues should now have a limited capacity. If the correct queue is full, the incoming packet should be dropped. You can change the return type of the method to “bool”, for instance, to indicate to the user that the packet was dropped.
2. Build another class called “Switch”, this class should do the same things the router class does, but only at the data link level, rather than the network level.

Het gebruik van Queues en Stacks

Net als veel andere programmeertalen, bestaan er in de C++ standard library al implementaties van queues en stacks. Deze heten respectievelijk std::queue en std::stack. Daarnaast bestaat er ook nog een double-ended queue, std::deque, en een priority queue genaamd std::priority_queue.

Protocol Headers

In enkele andere lessen heb je ongetwijfeld al gehoord van de 5-layer network stack (Fysieke, Datalink, Netwerk, Transport and Applicatie laag). In dit practicum zullen we een eenvoudige simulatie van een router bouwen in software, gebruik makend van queues en stacks.

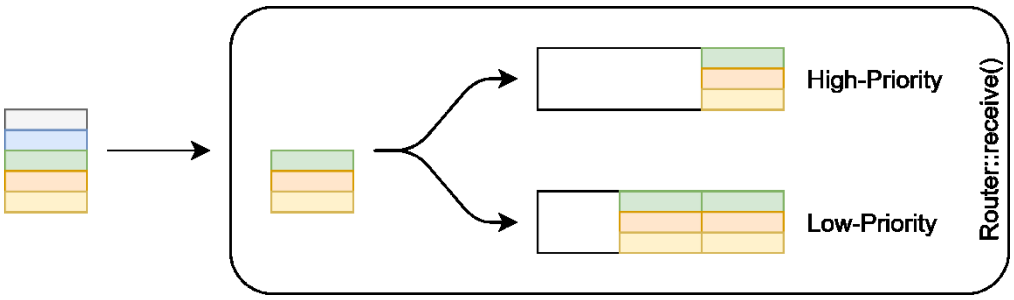


Code

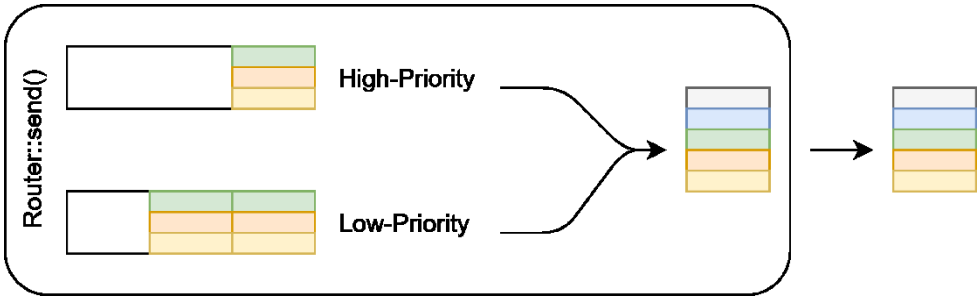
1. Eerst zullen we een datastructure maken om een network packet voor te stellen, hiervoor zullen we een stack gebruiken. Elk element in de stack stelt 1 laag van de 5-layer network stack voor. De applicatielaag bevind zich onderaan de stack, en de fysieke laag bovenaan de stack. Dit klinkt misschien onintuitief, maar op deze manier kan je de headers aan de buitenkanten van een packet poppen zonder aan de binnenste headers te zitten. Om deze data structuur aan te maken zullen we een type alias aanmaken. Maak een type genaamed “Packet” aan, en alias het naar een stack. In onze netwerk stack zal elke “header” voorgesteld worden met een integer, om alles eenvoudig te houden. Normaal gezien zijn er op de fysieke laag geen headers, wij zullen in onze header voor de fysieke laag gewoon een integer invullen die het fysieke medium weergeeft (Optisch, Koper, Draadloos, ...).
2. Nu we een “Packet” data structuur hebben, hebben we een functie nodig om eenvoudig paketten te genereren. Schrijf een “create_packet” functie, die 5 integers als argumenten neemt, en een “Packet” returnt. De 5 argumenten stellen de verschillende headers voor vans on packet, en moeten in de juiste volgorde op een stack gepushed worden om een volledig packet te maken.
   Schrijf ook enkele unit tests voor je “create_packet” functie. Controleer zeker dat de output altijd 5 elementen bevat, dat alle elementen aanwezig zijn, en dat ze in de juiste volgorde staan.
3. Na het aanmaken van de “create_packet” functie zullen we een “Router” klasse aanmaken, om routers in ons network voor te stellen. Een Router moet zeker volgende velden hebben:
   - Een type voor de fysieke laag (een integer)
   - Een MAC adres (een integer)
   - Een lage-prioriteit queue (std::queue<Packet>)
   - Een hoge-prioriteit queue (std::queue<Packet>)

   Het MAC adres en het type van de fysieke laag worden ingesteld in de constructor, de queues worden leeg geinitializeerd.

4. Na het aanmaken van de “Router” klasse, zullen we aan deze klasse een methode toevoegen. Deze methode heet “receive”, and neemt als argument “Packet&&”. De methode return niets (void). Wanneer de router een packet ontvangt, zal hij eerst de fysieke en data link headers verwijderen, om naar de network header te kijken. De router zal kijken naar de most significant bit in de network header. Als deze bit op 1 staat, dan wordt het packet in de hoge-prioriteitsqueue gestoken. Anders wordt het packet in de lage-prioriteitsqueue geplaatst.



5. Onze router kan nu packets ontvangen, de volgende stap is het verzenden van packets. Voeg een “send” methode toe aan je “Router” klasse. Deze methode neemt geen argumenten, en returnt een std::optional<Packet>. Wanneer deze methode wordt aangeroepen, zal de router eerst controleren of er iets in de hoge-prioriteits queue zit. Als dit zo is, dan verzenden we het packet uit de hoge-prioriteitsqueue. Als dit niet zo is, kijken we naar de lage-prioriteits queue, en nemen hier eventueel een bericht uit. Als beide queues leeg zijn returnen we std::nullopt. Na het kiezen van een packet, moeten we opnieuw een fysieke en data link header toevoegen. Voor deze headers gebruiken we het MAC adres en fysieke laag type uit de velden van het Router object.



Verslag

1. Kunnen we in onze “Router” klasse onze twee aparte queues vervangen door een eenvoudige priority queue, waarom wel of niet?
2. In de “receive” methode gebruikten we een std::optional om “iets of niets” te returnen. De standard library heeft ook een klasse om “Een van deze typen” voor te stellen, en een klasse voor “Al deze typen”. Welke klassen zijn dit?
3. std::stack, std::queue en std::priority_queue zijn container adaptors, terwijl std::vector, std::list en std::map containers zijn. Wat zijn de verschillen tussen een container en een container adaptor?

Extra

1. Wijzig je “receive” methode. Je queues hebben nu een maximale capaciteit. Als de correcte queue (hoge of lage prioriteti) vol is, dan moet je het binnenkomende packet droppen. Je kan eventueel het return type van de methode aanpassen (Naar “bool”, bv.) om aan de gebruiker duidelijk te maken dat het packet gedropt is.
2. Maak een andere klasse genaamd “Switch”. Deze klasse doet hetzelfde als onze “Router” klasse, maar op het data link niveau, ipv op het network niveau.