Simulation à événements discrets

Thi-Mai-Trang Nguyen

Université Pierre et Marie Curie

Plan

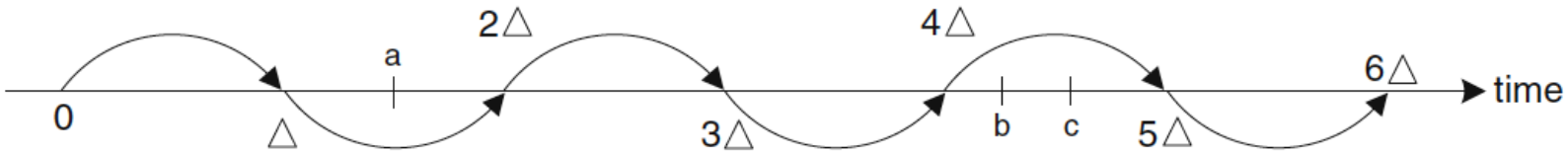
- Simulation à événements discrets
- Echéancier et gestionnaire (ordonnanceur)
- Premier pas avec OMNeT++
- L'exemple simple du réseau Tic-Toc

Simulation à événements discrets

- La simulation à événements discrets est la simulation d'un système dont l'état ne peut changer que lors d'instants temporelles distincts où il y a un événement
- Un événement est une circonstance qui permet au système de changer d'état
- Exemple
  - Les files d'attente
- Deux approches pour la gestion du temps
  - Simulation avec avancement par incrément fixe
  - Simulation avec avancement par événement

Simulation avec avancement par incrément fixe (1)

- Une simulation par incrément fixe (i.e. time-driven simulation) exécute les événements après chaque intervalle de temps de valeur fixe
- La simulation avance d'un intervalle à un autre et exécute tous les événements (s'il y en a) jusqu'à ce qu'elle atteint une certaine limite (e.g. le temps de fin de la simulation)



Simulation avec avancement par incrément fixe (2)

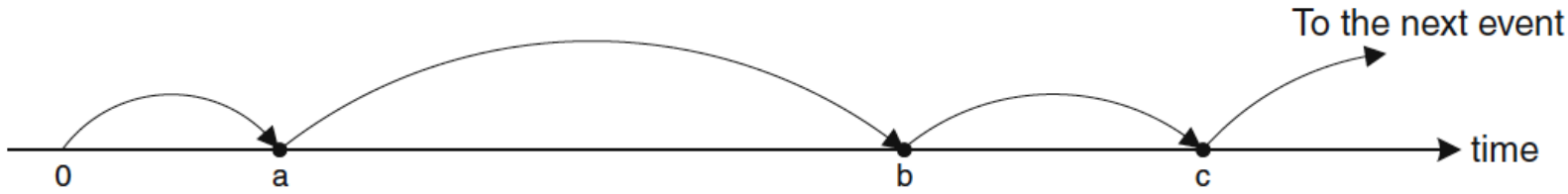
- Pseudo-code

```
1 initialize {system states}
2 SimClock := startTime;
3 while {SimClock < stopTime}
4      collect statistics from current state;
5      execute all events that occurred during
6      [SimClock, SimClock + step];
7      SimClock := SimClock + step;
8 end while
```

Simulation avec avancement par événement (1)

- Une simulation avec avancement par événement (i.e. event-driven simulation) avance d'un événement à un autre en les exécutant jusqu'à ce que la simulation termine

- La simulation doit avancer toujours dans l'ordre chronologique
  - Chaque événement planifié dans la liste des événements doit avoir un temps de début qui est plus grand ou égal à celui de l'événement courant
  - Le prochain événement à exécuter par la simulation est toujours celui ayant le temps de début le plus petit



Simulation avec avancement par événement (2)

- Pseudo-code

```
1 initialize {system states}
2 initialize {list of events}
3 while {state != finalState}  % or while {this.event != Null}
4     expunge the previous event from list of events;
5     set SimClock := time of current event;
6     execute this.event
7 end while
```

Gestion des événements

- Dans une simulation à événements discrets, tous les événements de la simulation ne peuvent pas être créés lors du démarrage de la simulation
- Quand la simulation avance, un événement peut introduire un ou plusieurs nouveau(x) événement(s)
- Les nouveaux événements sont insérés dans une liste des événements qui sont rangés dans l'ordre chronologique
- Le processus continue jusqu'à ce que tous les événements soient exécutés ou le système arrive à un certain état (e.g. le temps de simulation atteint certaine valeur)
- C'est le travail de l'ordonnanceur des événements !

Echéancier

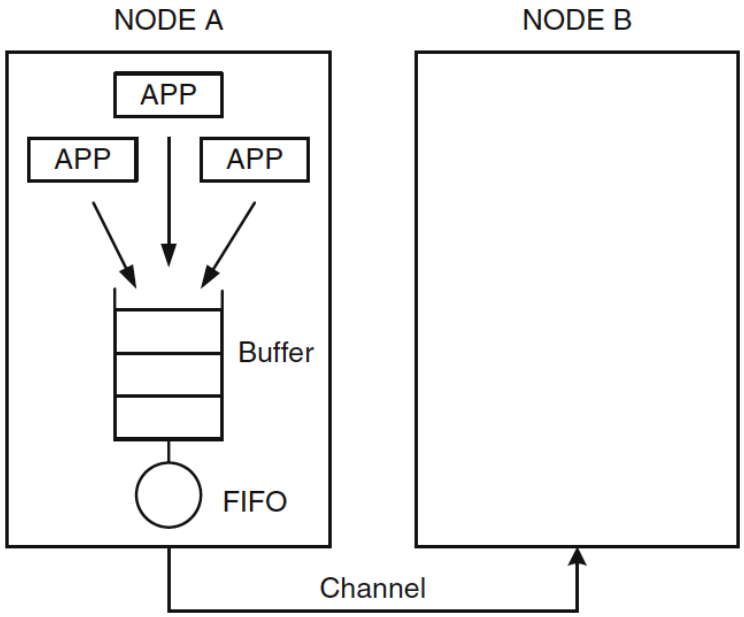
- L'ordonnanceur maintient une liste d'événements: l'échéancier (encore appelé FES – Future Event Set ou FEL – Future Event List)
- Les opérations d'un ordonnanceur
  - Identification et invocation du prochain événement (tête de liste)
  - Insertion d'un événement futur dans la liste
  - Retrait d'un événement à la fin de son traitement
- Différents types d'ordonnanceur/échéancier
  - Liste (List Scheduler)
  - Tas (Heap Scheduler) (OMNeT++)
  - Calendrier (Calendar scheduler) (par défaut dans NS-2)

Horloge

- L'horloge (i.e. simulation clock) indique le temps courant de la simulation (quand la simulation avance)
- La simulation suit la liste d'événements, exécute les événements l'un après l'autre et met à jours l'horloge de la simulation suivant les paramètres de l'événement exécuté

Exemple : la file d'attente à un serveur

- Une liaison filaire point-à-point unidirectionnel de A à B
- Les paquets viennent des applications du nœud A seront mis dans la file d'attente et seront transmis un par un sur la liaison

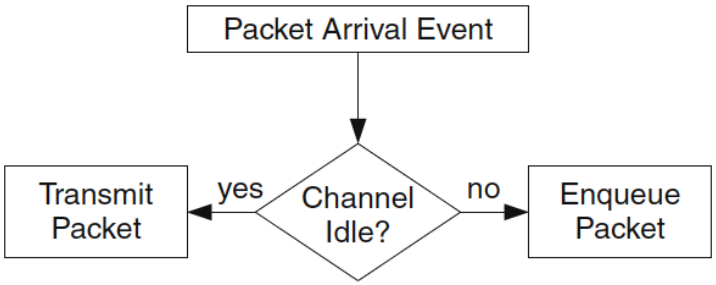


Concrétiser notre exemple (1)

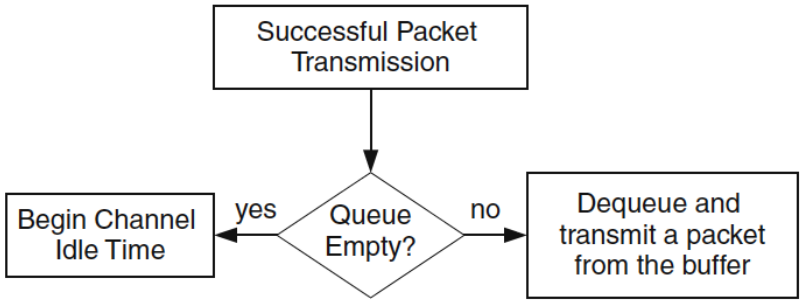
- Entités
  - Serveur (i.e. l'entité qui prend un paquet de la file d'attente et l'envoie sur le canal)
    - « prêt » ou « occupé »
  - Paquet
    - Temps d'arrivée
    - Temps de service
  - Queue
    - « vide » ou « pas-vide »
- Ressource
  - Le canal
- Etats du système
  - `num_system` : le nombre total de paquets dans le système
  - `channel_free` : l'état du serveur (prêt ou occupé)

Concrétiser notre exemple (2)

- Evénements
  - Pkt_arrival : l'arrivée d'un paquet



  - Pkt_complete : la transmission d'un paquet est terminée



Concrétiser notre exemple (3)

- Métriques de performance (calculés à la fin de la simulation)
  - Temps d'attente (dans la file d'attente) moyen d'un paquet

$$\frac{\text{temps d'attente total de tous les paquets transmis}}{\text{nombre total des paquets transmis}}$$

  - Délai moyen (temps d'attente + temps de service) d'un paquet

$$\frac{\text{temps total de passer dans le système de tous les paquets transmis}}{\text{nombre total des paquets transmis}}$$

  - Taux d'utilisation moyen du serveur

$$\frac{\text{temps total d'occupation du serveur}}{\text{temps de simulation}}$$

Pseudo-code de l'exemple (1)

```
1  % Initialize system states
2  channel_free = true; %Channel is idle
3  num_queue = 0;       %Number of packets in queue
4  num_system = 0;      %Number of packets in system
5  SimClock = 0;        %Current time of simulation

6  %Generate packets and schedule their arrivals
7  event_list = create_list();

8  % Main loop
9  while {event_list != empty} & {SimClock < stopTime}
10     expunge the previous event from event list;
11     set SimClock := time of current event;
12     call current event;
13 end while
```

Pseudo-code de l'exemple (2)

```
14 %Define events
15 pkt_arrival(){
16     if(channel_free)
17         channel_free = false;
18         num_system = num_system + 1;
19         % Update "event_list": Put "successful packet tx event"
20         % into "event_list," T is random service time.
21         schedule event "pkt_complete" at SimClock + T;
22     else
23         num_queue = num_queue + 1; %Place packet in queue
24     num_system = num_queue + 1;
25 }
```

Pseudo-code de l'exemple (3)

```
26 pkt_complete(){
27      num_system = num_system - 1;
28      num_queue = num_queue - 1;
29      if(num_queue > 0)
30          schedule event "pkt_complete" at SimClock + T;
31      else
32          channel_free = true;
33          num_system = 0;
34          num_queue = 0;
35 }
```

Réalisation (1)

- Densité de probabilité des inter-arrivées et du temps de service

Time unit	Inter-arrival (probability mass)	Service (probability mass)
1	0.2	0.5
2	0.2	0.3
3	0.2	0.1
4	0.2	0.05
5	0.1	0.05
6	0.05	
7	0.05	

Réalisation (2)

- Résultat de simulation de 10 paquets

Packet	Interarr. time	Service time	Arrival time	Service starts	Time spent in-queue	Packet trans-mission latency
1	-	5	0	0	0	5
2	2	4	2	5	3	7
3	4	1	6	9	3	4
4	1	1	7	10	3	4
5	6	3	13	13	0	3
6	7	1	20	20	0	1
7	2	1	22	22	0	1
8	1	4	23	23	0	4
9	3	3	26	27	1	4
10	5	2	31	31	0	2
					10	3.5

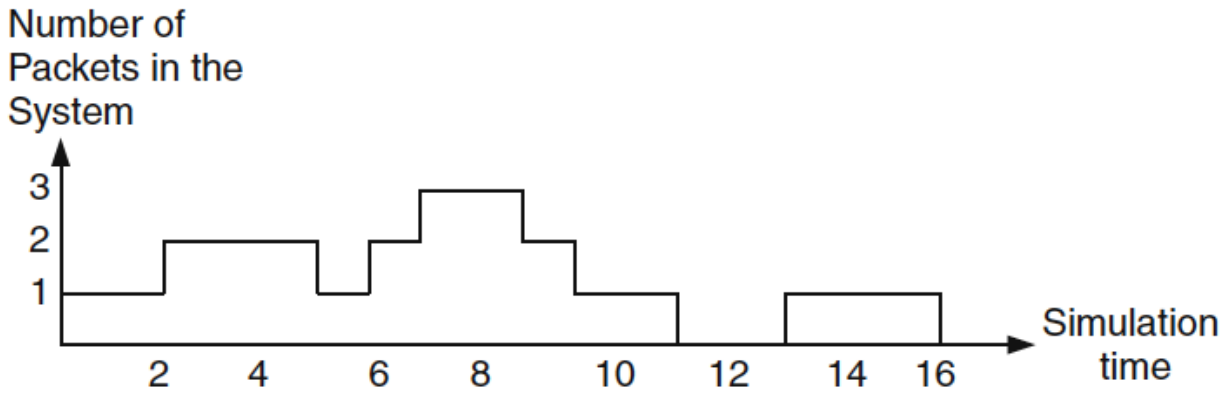
Réalisation (3)

- Les événements correspondant aux 5 premiers paquets

Event	Packet No.	Simulation clock
Arrival	1	0
Arrival	2	2
Completion	1	5
Arrival	3	6
Arrival	4	7
Completion	2	9
Completion	3	10
Completion	4	11
Arrival	5	13
Completion	5	16

Réalisation (4)

- Évolution du nombre de paquets dans le système



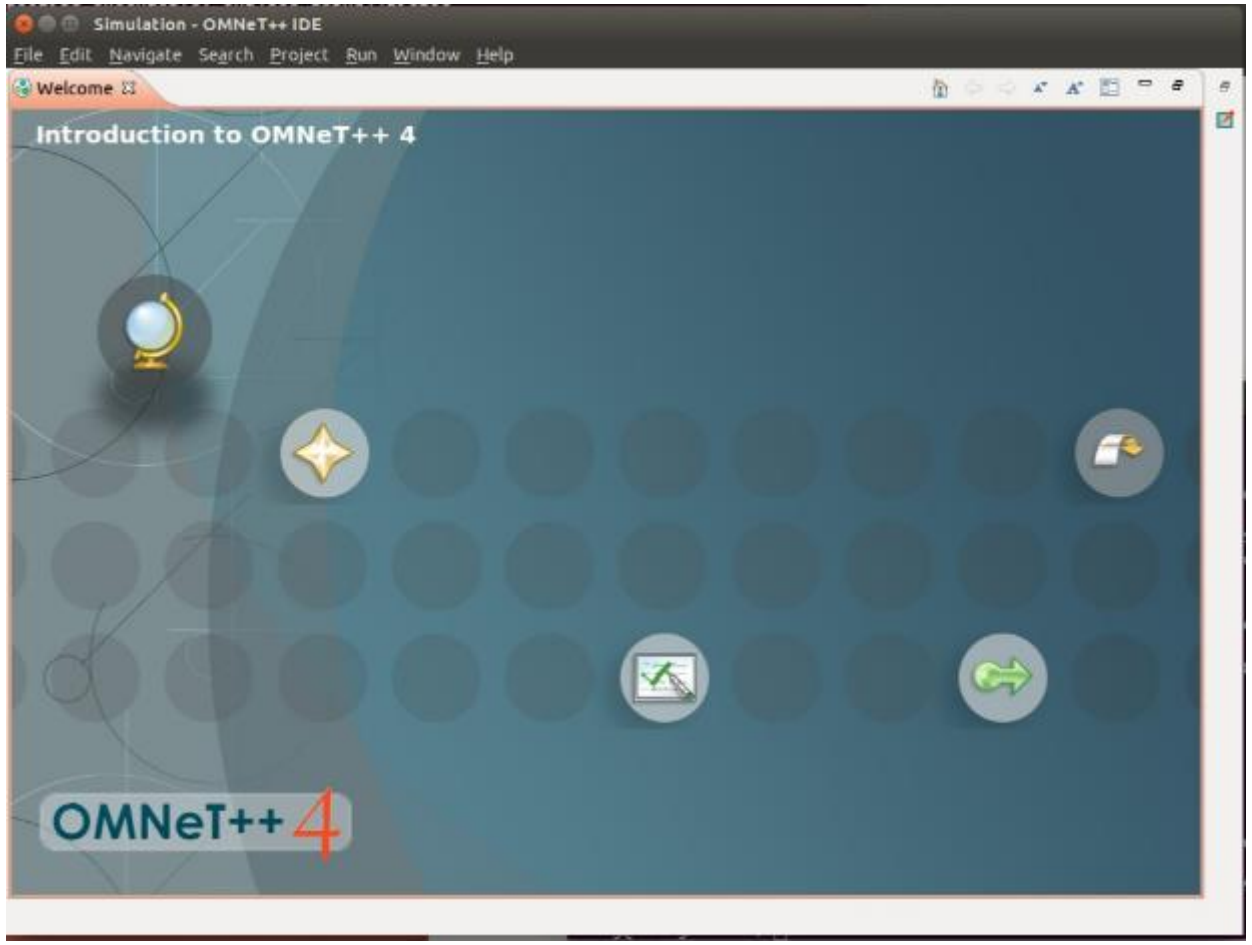
- Taux d'utilisation moyen du serveur

$$\frac{14}{16} = 0,875$$

OMNeT++

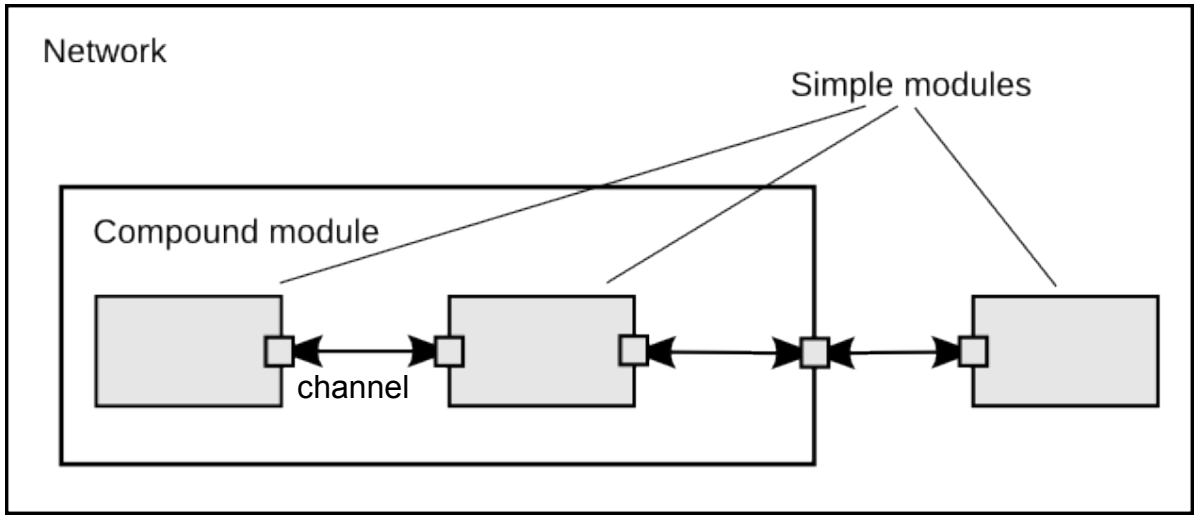
- Objective Modular Network Testbed in C++
- Pour les simulations à événements discrets
- Utilise le langage C++
- Avec les modules spécialisés dans les réseaux (e.g. Internet)
- Très bien pour une plate-forme de simulation des réseaux dans les environnements académiques et industriels
- http://www.omnetpp.org

OMNeT++ lors du lancement



Architecture de OMNeT++ (1)

- 4 entités de base dans une simulation
  - Module simple (simple module)
  - Canal (channel)
  - Module composé (compound module)
  - Réseau (network)



Architecture de OMNeT++ (2)

- Module simple
  - Brique de base
- Canal
  - Interconnecter les modules
- Les modules se communiquent (échangent des messages) via un canal et y accédent à travers des ports (i.e. « gates »)

Deux langages

- C++
  - Implémenter les fonctionnalités et composants spécifiques
- NED
  - Décrire les modules
  - Topologie du réseau
  - Configuration des paramètres d'une simulation

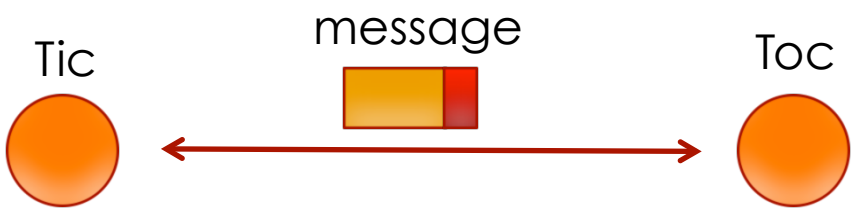
Langage NED

- Un langage spécifique à OMNeT++ pour décrire la structure d'un réseau (NED = Network Description)
- Exemple

```
//
// A network
//
network Network
{
    submodules:
        node1: Node;
        node2: Node;
    connections:
        node1.port++ <--> {datarate=100Mbps;}
<--> node2.port++;
}
```

Exemple: Réseau Tic-toc

- Tic-Toc est un réseau ayant deux nœuds (Tic et Toc)
- Tic envoie un message à Toc qui le renvoie et ainsi de suite



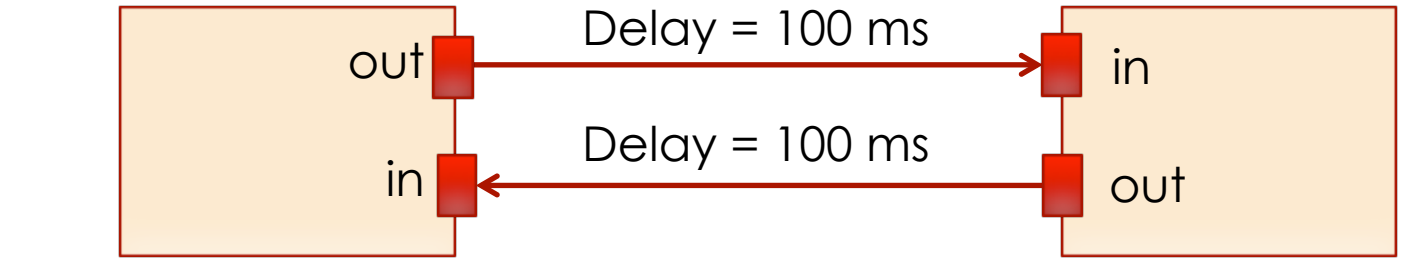
- Deux manières de créer les simulations
  - Par lignes de commande et un éditeur de texte au choix
  - Par l'IDE de OMNeT++ (à découvrir dans le TP)

Réaliser le réseau Tic-Toc en utilisant des lignes de commande

- Créer un dossier appelé tictoc

```
$ makedir tictoc
$ cd tictoc
```

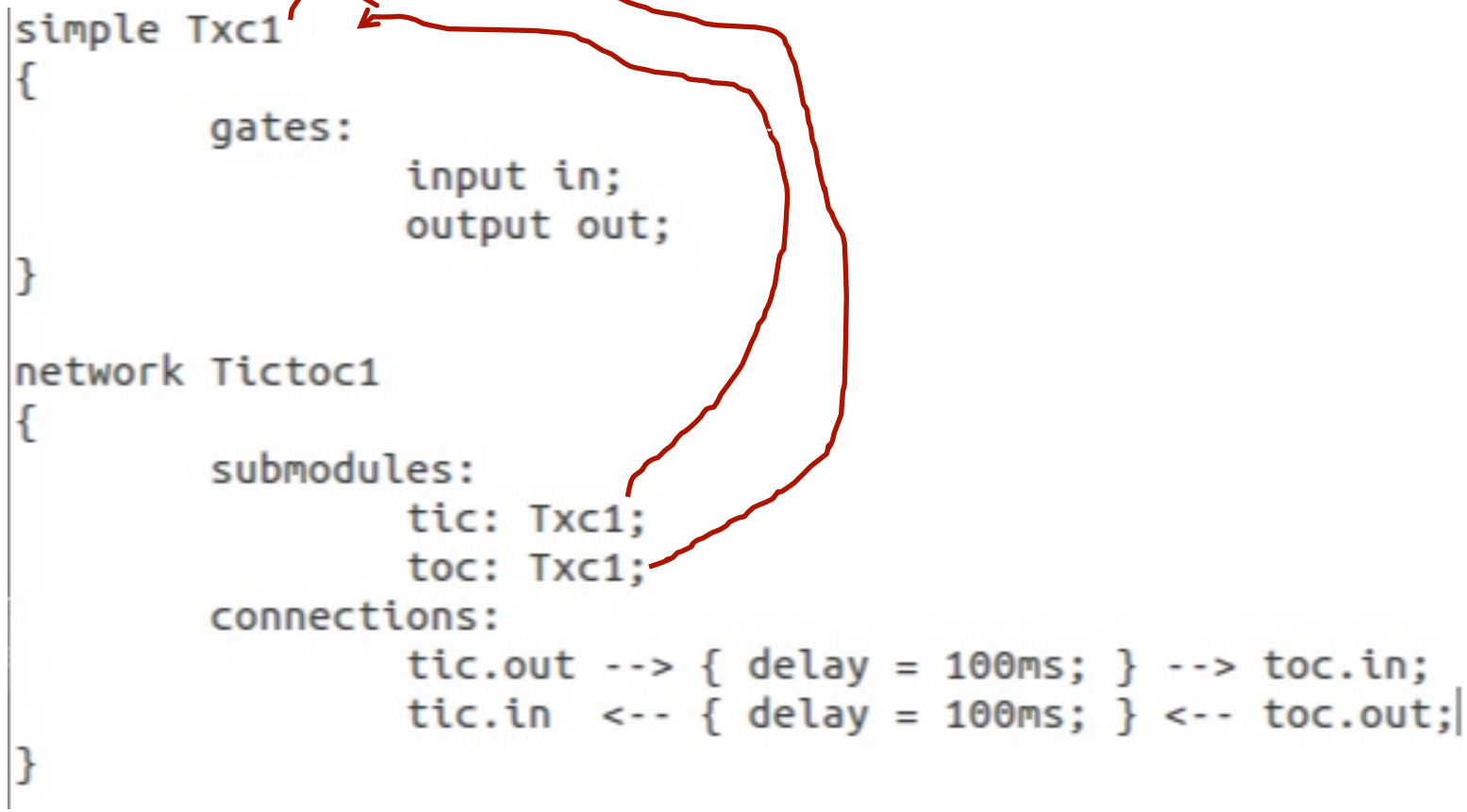
- Editer un fichier `tictoc1.ned` pour décrire la topologie du réseau Tictoc1



** Txc1 est un module simple ayant deux ports (in et out) à implémenter*

tictoc1.ned

class Txc1 dans txc1.cc



```
simple Txc1
{
        gates:
                input in;
                output out;
}

network Tictoc1
{
        submodules:
                tic: Txc1;
                toc: Txc1;
        connections:
                tic.out --> { delay = 100ms; } --> toc.in;
                tic.in  <-- { delay = 100ms; } <-- toc.out;
}
```

Comprendre le fichier tictoc1.ned

- Description le réseau Tictoc1
  - Tictoc1 est un réseau formé de 2 sous-modules : tic et toc
  - Tic et toc sont des instances d'un module simple qui s'appelle Txc1
  - Txc1 est un module simple ayant un port d'entrée appelé « in » et un port de sortie appelé « out »
  - Le port de sortie de Tic est connecté au port d'entrée de Toc par un canal ayant un délai de 100 ms
  - Le port de sortie de Toc est connecté au port d'entrée de Tic par un canal ayant un délai de 100 ms
- Ensuite, il faut créer un fichier `txc1.cc` pour implémenter les fonctionnalités du module simple Txc1

txc1.cc

```
#include <string.h>
#include <omnetpp.h>

class Txc1 : public cSimpleModule
{
        protected:
                virtual void initialize();
                virtual void handleMessage(cMessage *msg);
};

Define_Module(Txc1);

void Txc1::initialize()
{
        if (strcmp("tic", getName()) == 0)
        {
                cMessage *msg = new cMessage("tictocMsg");
                send(msg, "out");
        }

}

void Txc1::handleMessage(cMessage *msg)
{
        send(msg, "out");
}
```

Pour l'intégrer/enregistrer avec les autres Modules de OMNET++

Comprendre le fichier txc1.cc

- Tout module simple doit être implémenté comme une sous-classe de la classe cSimpleModule et doivent être enregistrés auprès de OMNeT++ via le macro Define_Module()
- Nous allons redéfinir deux méthodes définies par la classe cSimpleModule
  - initialize()
  - handleMessage()
- La méthode initialize() sera invoquée une seule fois lors de l'instanciation d'un objet
- La méthode handleMessage() sera invoquée à chaque fois un message arrive au module

Fichier de configuration

- Pour paramétrer la simulation, il faut créer un fichier `.ini` (souvent nommé `omnetpp.ini`)
- Fichier `omnetpp.ini`

```
[General]

network = Tictoc1
```

- Dossier ../tictoc à présent
  - `omnetpp.ini`
  - `tictoc1.ned`
  - `txc1.cc`

Compiler et lancer la simulation

- Créer le Makefile

```
$ opp_makemake
```

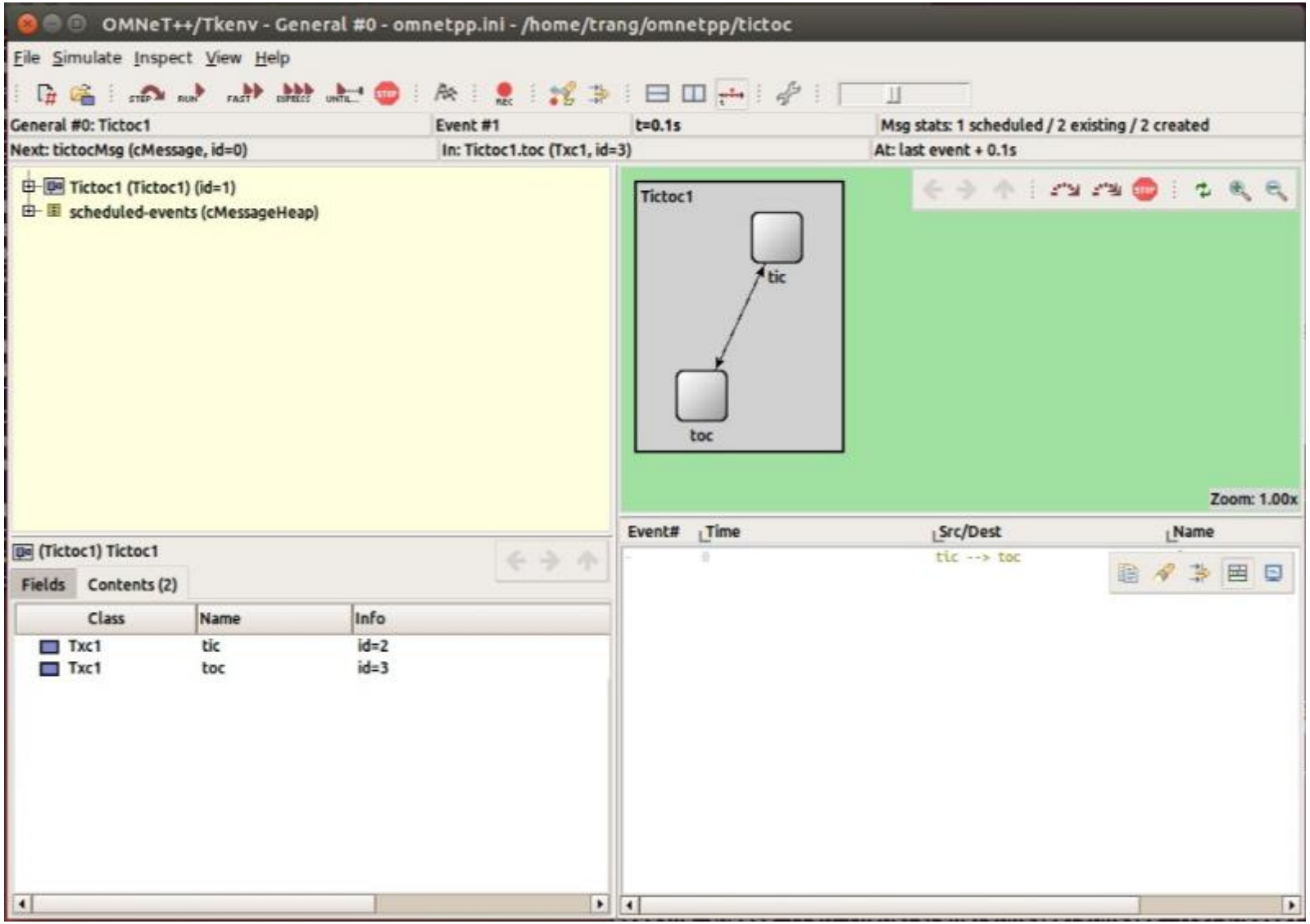
- Compiler et créer le fichier exécutable

```
$ make
```

- Exécuter le programme

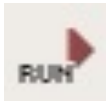
```
$ ./tictoc
```

Interface de simulation



A vous de jouer !

- Cliquer sur le bouton « Run » pour lancer la simulation

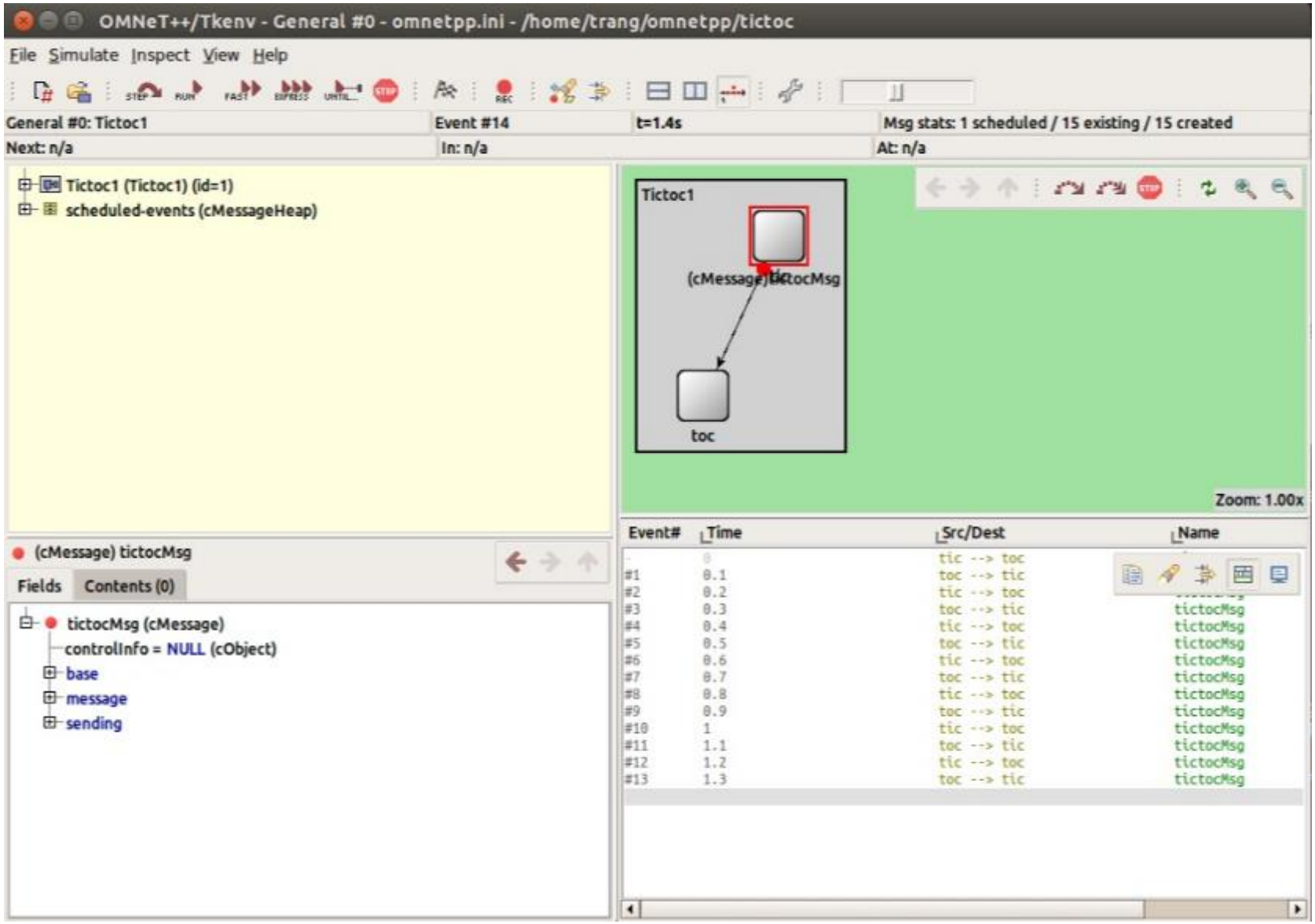


- Cliquer sur le bouton « Stop » pour arrêter la simulation

- Cliquer sur le bouton « Conclude simulation » pour invoquer la méthode finish() dans tous les modules

- Nous voyons les nœuds Tic et Toc échanger le message « tictocMsg »

Résultat


OMNeT++/Tkenv - General #0 - omnetpp.ini - /home/trang/omnetpp/tictoc
File Simulate Inspect View Help
General #0: Tictoc1
Event #14
t=1.4s
Msg stats: 1 scheduled / 15 existing / 15 created
Next: n/a
In: n/a
At: n/a
Tictoc1 (Tictoc1) (id=1)
scheduled-events (cMessageHeap)
Tictoc1
(cMessage) tictocMsg
toc
Zoom: 1.00x
(cMessage) tictocMsg
Fields
Contents (0)
tictocMsg (cMessage)
controlInfo = NULL (cObject)
base
message
sending
Event#
Time
Src/Dest
Name
#1 0.1 toc --> tic tictocMsg
#2 0.2 tic --> toc tictocMsg
#3 0.3 toc --> tic tictocMsg
#4 0.4 tic --> toc tictocMsg
#5 0.5 toc --> tic tictocMsg
#6 0.6 tic --> toc tictocMsg
#7 0.7 toc --> tic tictocMsg
#8 0.8 tic --> toc tictocMsg
#9 0.9 toc --> tic tictocMsg
#10 1 tic --> toc tictocMsg
#11 1.1 toc --> tic tictocMsg
#12 1.2 tic --> toc tictocMsg
#13 1.3 toc --> tic tictocMsg

Annexe: Installation d'OMNeT++ sous Ubuntu 14.10 (1)

- Télécharger le fichier `omnetpp-4.6-src.tgz` depuis *http://www.omnetpp.org/omnetpp*
- Extraire les fichiers dans un dossier (e.g. `~/omnetpp`)

```
$ ls ~/omnetpp
omnetpp-4.6 omnetpp-4.6-src.tgz
```

- Préparer l'environnemement

```
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install build-essential gcc g++ bison
flex perl tcl-dev tk-dev libxml2-dev zlib1g-dev default-
jre doxygen graphviz libwebkitgtk-1.0-0 openmpi-bin
libopenmpi-dev libpcap-dev
```

Annexe: Installation d'OMNeT++ sous Ubuntu 14.10 (2)

- Aller au dossier `omnetpp-4.6` pour commencer l'installation
  - `$ cd ~/omnetpp/omnetpp-4.6`
  - `./configure`
- Rajouter le chemin vers `~/omnetpp/omnetpp-4.6/bin` dans `$PATH`
  - Exemple du fichier `~/.bash_profile`

    ```
    PATH=$PATH:~/omnetpp/omnetpp-4.6/bin
    export PATH
    ```
  - Exécuter le fichier `~/.bash_profile`

    ```
    $ source ~/.bash_profile
    ```
- Compiler OMNeT++ dans `~/omnetpp/omnetpp-4.6`

  ```
  ./make
  ```
- Lancer OMNeT++

  ```
  $ omnetpp
  ```