Synthese Eingebetteter Systeme

Sommersemester 2011

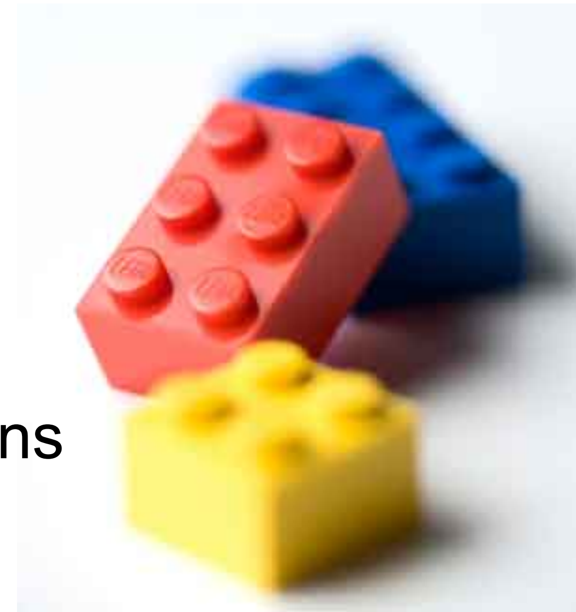
5 – SystemC-Kommunikation

Michael Engel
Informatik 12
TU Dortmund

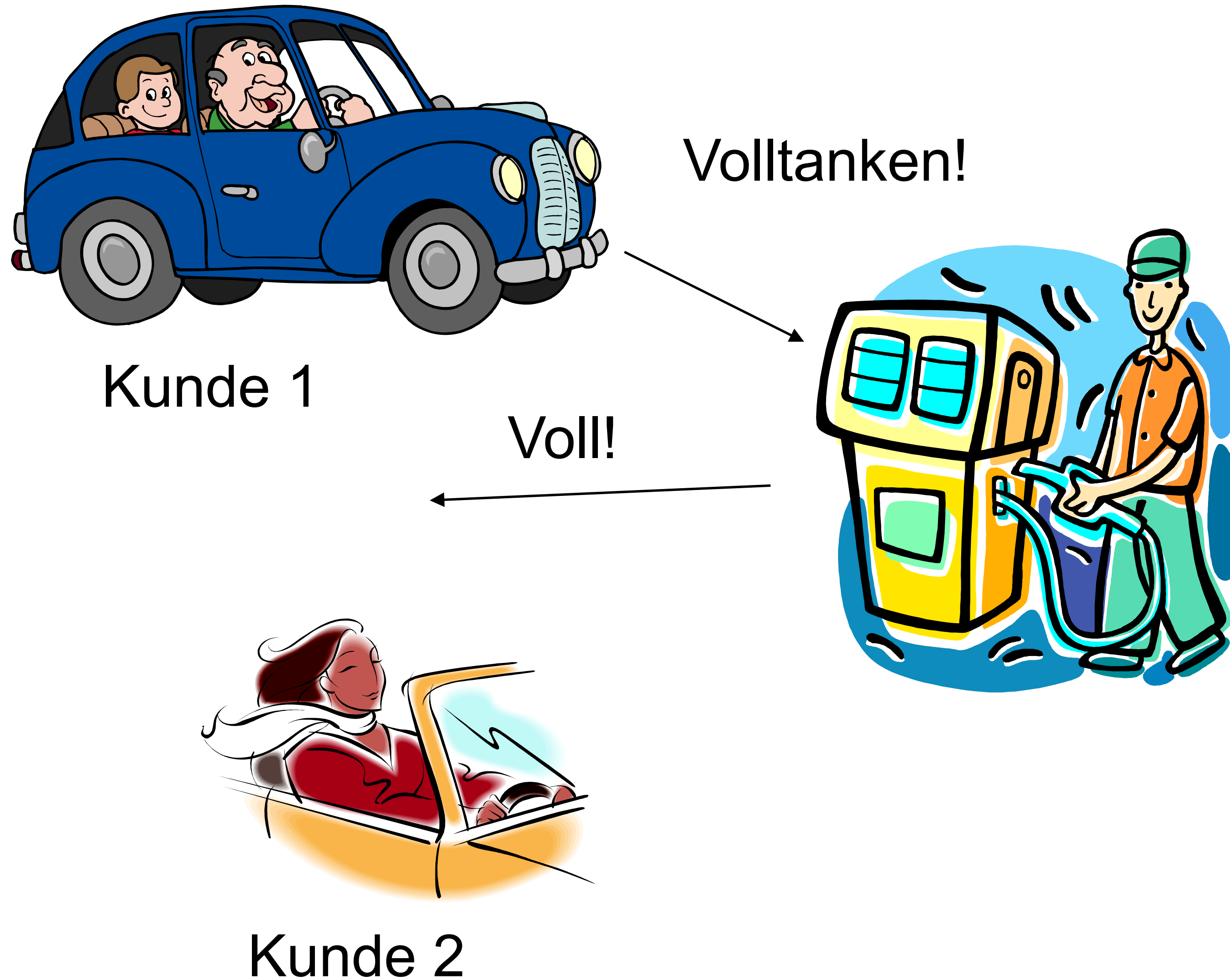
2011/04/20

SystemC-Komponenten

- Zeitmodell
- Datentypen
- Instanziierung
- Stolpersteine
- Module, Hierarchie und Struktur
- Nebenläufigkeit
- Ereignisse, Sensitivität und Notifications
- Kommunikation
- Ports, Interfaces und Kanäle

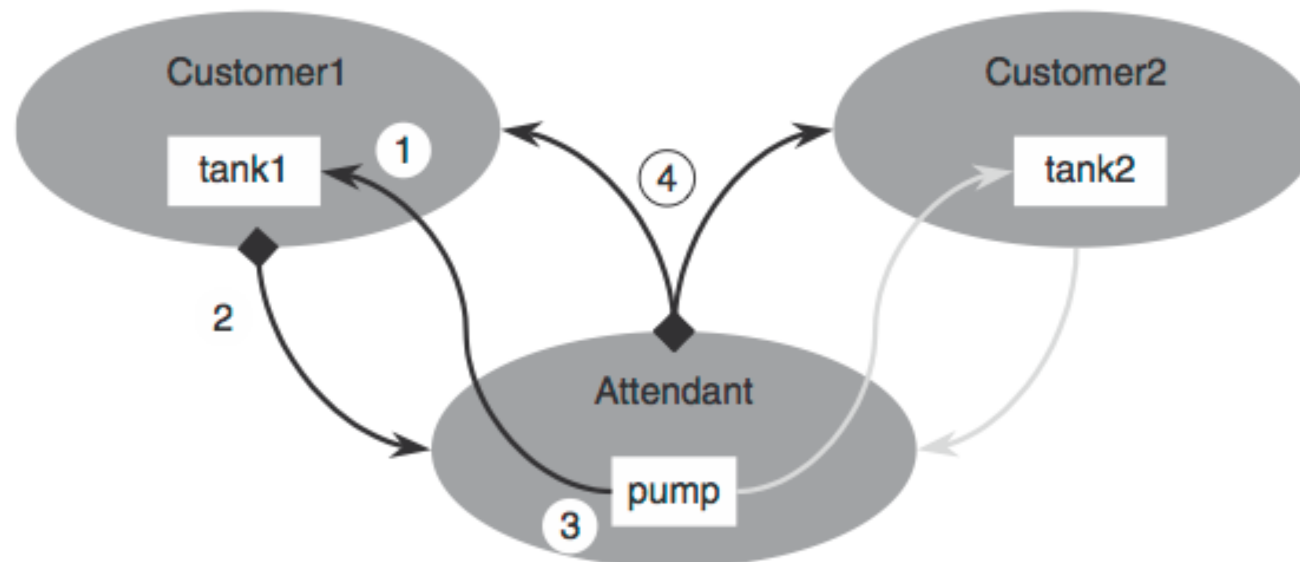


Beispiel: Tankstelle (1)



Tankstelle: Ablauf

- Kunde bemerkt leeren Tank, kommt an Tankstelle an (1)
- Tankwart bemerkt, dass Kunde tanken möchte (2)
- …und muss dies auch erkennen, wenn er gerade dabei ist, einen anderen Kunden zu bedienen (3)



Tankstelle: Ablauf

- Wenn zwei Kunden ankommen, kann der Tankwart auf die Anforderung beider Kunden warten mit
  - **wait (e_request1|e_request2))**
- Semantik von **sc_event** ermöglicht es dem Tankwart nicht zu wissen, *von welchem Kunden* die Anforderung kam
  - Tankwart weiss nicht, welche Anforderung dazu führte, dass der **wait()**–Aufruf zurückkam
- Daher verwendet das Tankstellen-Modell den Status des Tanks als Anzeige, ob der Tank gefüllt werden soll
  - Kunde muss entsprechend überprüfen, ob der Tank tatsächlich gefüllt wurde, wenn der Tankwart dies behauptet (4)

Beispiel: Tankstelle (2)

main.cpp

```
#include <systemc.h>
#include "gas_station.h"
unsigned errors = 0;

char* simulation_name = "gas_station";
int sc_main(int argc, char* argv[]) {
  sc_set_time_resolution(1,SC_NS);
  sc_set_default_time_unit(1,SC_NS);

  gas_station Charlies("Charlies",/*full1*/10,/*full2*/12,/*filltime*/1.5,/*maxfills*/10);

  cout << "INFO: Starting gas_station simulation" << endl;
  sc_start();
  cout << "INFO: Exiting gas_station simulation" << endl;
  cout << "INFO: Simulation " << simulation_name
      << " " << (errors?"FAILED":"PASSED")
      << " with " << errors << " errors” << endl;
  return errors?1:0;}
```

Source & ©: D. Black, J. Donovan, http://eklectically.com/Book/;
All usage restrictions imposed by the authors apply.

gas_station.h

```
SC_MODULE(gas_station) {   // Lokale Daten
 const    sc_time t_MIN;   bool     m_filling; // state of attendant
 double   m_full1, m_full2;   double   m_filltime; sc_event e_request1, e_request2;
 double   m_tank1, m_tank2; unsigned m_count1, m_count2, m_maxcount;
 sc_event e_filled;   // KonstruKtor
 SC_HAS_PROCESS(gas_station);
 gas_station(sc_module_name  _name,
  double   full1=10.0, double full2=11.1, double filltime=1.8, unsigned maxcount=5   ) :
  sc_module(_name), m_full1(full1), m_full2(full2), m_filltime(filltime), m_tank1(full1),
  m_tank2(full1), m_count1(0), m_count2(0),     m_maxcount(maxcount),
   m_filling(false), t_MIN(1,SC_NS)) // 1 Minute Echtzeit = 1 Nanosekunde
 { SC_THREAD(customer1_thread);
    sensitive << e_filled;
  SC_THREAD(Ende customer2_thread);
  SC_METHOD(attendant_method);
    sensitive << e_request1 << e_request2;
    dont_initialize();
 } // Ende Konstruktor (gas_station)
// Prozessdeklarationen
void customer1_thread(void);
void customer2_thread(void);
void attendant_method(void);
std::string hms(void); }; // Hilfsfunktion: Zeitausgabe
```


Source & ©: D. Black, J. Donovan, http://eklectically.com/Book/; All usage restrictions imposed by the authors apply.

Beispiel: Tankstelle (4)

```
#include "gas_station.h”
extern unsigned errors;
void gas_station::customer1_thread(void) {
  for (;;) {   // Simulate gas tank emptying time
   wait((m_full1+rand()%int(m_full1*0.10))*t_MIN);
    // Force 25% of all fill ups to be simultaneous
    // with other customers to check contention
    if (rand()%4==1) wait(e_request2);
    cout << "INFO: " << name() <<
   " Customer1 req. gas (1) at "  << hms() << endl;
    m_tank1 = 0;
    // Request fill up, then wait for acknowledge
    do {  e_request1.notify(); // I need fill up! (2)
      wait(); // static sensit.: Somebody got filled
    } while (m_tank1 == 0); // Was it us?  yes
  } // end forever
} // end customer1_thread()
```

gas_station.cpp

```
void gas_station::customer2_thread
(void) {
  for (;;) {  // Simulate emptying time
   wait((m_full2+rand()%
   int(m_full2*0.10))*t_MIN);
    cout << "INFO: " << name()   << "
    Customer2 needs gas (1) at " <<
    hms() << endl;
    m_tank2 = 0;
      do { e_request2.notify(); // fillup! (2)
      wait(e_filled); // dynamic sensitivity
    } while (m_tank2 == 0);
  }//endforever
}//end customer2_thread()
```

Source & ©: D. Black, J. Donovan, http://eklectically.com/Book/;
All usage restrictions imposed by the authors apply.

```
void gas_station::attendant_method(void) {
 // ASSERTION: We got here due to either (A) a request in progress
 // (B) an event request from a new customer. Since this is an SC_METHOD,
 // we maintain a small amount of state, m_filling. Initially, we're not filling.
 // Once we get a fillup request, we choose who, initiate filling, and then
 // use dynamic sensitivity to delay by the amount of time it takes to fill the
 // indicated gas tank.
 if (!m_filling) {
  // Check customer 1 first (preferential selection)
  if (m_tank1 == 0 && m_count1 < m_maxcount) {
   cout << "INFO: " << name()
        << " Filling tank1 (3) at "
        << hms() << endl;
   next_trigger(m_filltime*m_full1*t_MIN);
   m_filling = true;

  // Check customer 2 only if no customer 1
  } else if (m_tank2 == 0 && m_count2 < m_maxcount) {
   cout << "INFO: " << name() << " Filling tank2 (3) at ” << hms() << endl;

   next_trigger(m_filltime*m_full2*t_MIN);
   m_filling = true;
  } //endif
 } else {
```

Source & ©: D. Black, J. Donovan, http://eklectically.com/Book/; All usage restrictions imposed by the authors apply.

```
} else {
  // We reach here by timing out on filling the tank, so first update
  // the tank, counts and issue messages about this event for the
  // appropriate customer. Then notify everyone of the event (4)
  if (m_tank1 == 0 && m_count1 < m_maxcount) {
    m_tank1 = m_full1; m_count1++;
    cout << "INFO: " << name()  << " Filled tank1 (4) at "   << hms() << endl;
  } else if (m_tank2 == 0 && m_count2 < m_maxcount) {
    m_tank2 = m_full2;
    m_count2++;
    cout << "INFO: " << name() << " Filled tank2 (4) at " << hms() << endl;
  } // endif
  e_filled.notify(SC_ZERO_TIME); // We finished filling (4) & are available!
  m_filling = false; // go back to waiting
  // See if we need to stop the simulation
  if (m_count1 == m_maxcount && m_count2 == m_maxcount) {
    cout << "WARN: " << name() << " No more fuel at " << hms() << endl;
    sc_stop();
  }  // endif
 }  // endif
}  // end attendant_method()
```

Source & ©: D. Black, J. Donovan, http://eklectically.com/Book/; All usage restrictions imposed by the authors apply.

Beispiel: Tankstelle (7)

```
#include <sstream>
std::string gas_station::hms(void) {
  std::ostringstream now;
  double mins(sc_simulation_time());
  unsigned days = int(mins/(24*60));
  mins -= days*24.0*60.0;
  unsigned hrs = int(mins/60);
  mins -= hrs*60.0;
  if (days)         now << days << " days ";
  if (days||hrs)    now << hrs  << " hrs ";
                    now << mins << " mins";
 return now.str();
} // end hms()
```

Hilfsfunktion: Zeitanzeige

Source & ©: D. Black, J. Donovan, http://eklectically.com/Book/;
All usage restrictions imposed by the authors apply.

Probleme mit Events

- Events ermöglichen die Simulation von Nebenläufigkeit, erfordern aber sorgfältige Programmierung
  - Events können verpasst werden
  - Handshake-Variable sollte verwendet werden
  - Zeigt an, wenn ein Request anliegt
  - Löschen, wenn Request bestätigt wurde
  - Sicherer Datenaustausch zwischen nebenläufigen Simulationsprozessen

Tankstelle: Channels

- SystemC-Mechanismen erleichtern diese Aufgaben
  - Unterstützung bei der Kommunikation
  - Verkapselung komplexer Kommunikation
- Zwei Arten von Kanälen (Channels)
  - primitive und hierarchische
  - Erstmal: primitive
- Primitive Channels heißen “primitiv”, weil sie weder Hierarchie noch Simulationsprozesse besitzen und daher sehr schnell sind
  - Erben von der Basisklasse **sc_prim_channel**
  - Erben und implementieren auch eine oder mehrere SystemC Interfaceklassen
- SystemC besitzt mehrere eingebaute primitive Channels
  - **sc_mutex, sc_semaphore** und **sc_fifo<*T*>.**

Channels: sc_mutex

- Mutex
  - kurz für “mutual exclusion” – “gegenseitiger Ausschluß”
- Programobjekt, über das mehrere Threads eine gemeinsame Ressource ohne Kollisionen verwenden können
- Während Elaboration wird Mutex mit eindeutigem Namen erzeugt
  - Jeder Prozess, der Ressource benötigt, muss erst den Mutex sperren (lock), damit andere Prozesse diese Ressource nicht verwenden können
  - Nach Benutzung Mutex wieder freigeben
- Andere Threads, die versuchen, Ressource (und Mutex) zu verwenden, müssen warten, bis der aktuelle Besitzer des Mutex diese freigibt (unlock)

Channels: sc_mutex

- SystemC realisiert Mutexe mit dem **sc_mutex**-Channel
- Klasse **sc_mutex** implementiert die Interfaceklasse **sc_mutex_if**
  - Verschiedene Zugriffsmethoden, z.B. blockierend und nicht blockierend
  - Blockierende Methoden nur in **SC_THREAD**s verwendbar

```
sc_mutex NAME;

NAME.lock();       // Lock the mutex,
                   // wait until unlocked if in use
int NAME.trylock() // Non-blocking, returns success

NAME.unlock();     // Free a previously locked mutex
```


© m. engel, p. marwedel, informatik 12, 2011

sc_mutex-Beispiel: Tankstelle

- Tankwart ist geteilte Ressource
  - Nur eine Tanksäule –> ein Auto gleichzeitig betankbar
- Beispiel: Steuerung eines Autos
  - Nur eine Person gleichzeitig auf Fahrersitz

```
class car : public sc_module {
  sc_mutex drivers_seat;
public:
  void drive_thread(void);
  …
};

void car::drive_thread(void) {
  drivers_seat.lock(); // sim driver acquires seat
  start();
  … // operate vehicle
  stop();
  drivers_seat.unlock(); // sim driver leaves
                         // vehicle
   …
}
```

sc_mutex-Beispiel: Synthese

- In elektronischen Systemen kann **sc_mutex** verwendet werden, um die Zugriffskontrolle (Arbitrierung) für einen gemeinsamen Bus zu modellieren
  - Mehrere Master müssen auf Bus zugreifen können
  - Ohne Entwurf einer Arbitrierung, kann in einem einfachen Modell **sc_mutex** zur Kontrolle verwendet werden
  - Entwurf lässt sich später detail-lieren

```
class bus : public sc_module {
  sc_mutex bus_access;
  ...
  void write(int addr, int data) {
    bus_access.lock();
    // perform write
    bus_access.unlock();
  }
  ...
};
```


© m. engel, p. marwedel, informatik 12, 2011

sc_mutex-Beispiel: Synthese (2)

- Ein Mutex kann auch direkt Teil der Klasse sein, die das Busmodell implementiert
- In einem **SC_METHOD**-Prozess könnte der Buszugriff dann wie folgt aussehen:

```
void grab_bus_method() {
  if (bus_access.trylock() == 0) {
    // access bus
    …
    bus_access.unlock();
  }
}
```

sc_mutex-Beispiel: Synthese (3)

- **Nachteil:**
  - Freigabe eines **sc_mutex** wird nicht durch Event angezeigt
- Wiederholter Aufruf von **trylock()** notwendig
  - Abhängig von anderem Event oder Zeitverzögerung
- Wenn ein Prozess P1 eine Ressource mit **sc_mutex,** reserviert, muss ein zweiter Prozess, der auf die selbe Ressource zugreifen möchte, **trylock()** in Verbindung mit **wait()** oder **return** aufrufen
  - **wait()** oder **return** zwischen **trylock()**-Aufrufen erforderlich!
  - Sonst ist die Simulation blockiert und P1 kann nicht weiterlaufen, um Ressource freizuegeben!
  - Die Simulation würde unendlich oft **trylock()** aufrufen

sc_semaphore

- Modellierung von mehreren Instanzen oder Besitzern für einige Ressourcen erforderlich
  - Beispiel: Parkpositionen auf einem Parkplatz
- SystemC besitzt die **sc_semaphore**-Klasse
  - Erbt von und implementiert die **sc_ semaphore_if** Klasse
- Bei Erzeugung eines **sc_semphore** Objekt muss die maximale Anzahl angegeben werden
  - Ein Mutex ist eine Semaphore mit Anzahl 1

© m. engel, p. marwedel, informatik 12, 2011

sc_semaphore (2)

- Zugriff auf **sc_semaphore**:
  - Warten auf Verfügbarkeit einer Ressource
  - Benutzen der Ressource
  - Benachrichtigen, wenn Verwendung der Ressource beendet (Freigabe)

```
sc_semaphore NAME(COUNT);

NAME.wait();          // Lock one semaphore
                      // Wait until available if in use
int NAME.trywait()    // Non-blocking, return success

int NAME.get_value()  // Returns available semaphores

NAME.post();          // Free one previously locked
                      // semaphore
```

sc_semaphore (3)

- **sc_semaphore::wait()** ist sehr unterschiedlich zur **wait()**-Method bei **SC_THREAD!**
  - Intern wird **sc_semaphore::wait()** implementiert als **wait(event)**
- Tankstelle mit mehreren Zapfsäulen, Selbstbedienung
  - Zapfsäulen als Semaphor modelliert
  - Anzahl = Anzahl verfügbarer Zapfsäulen

```
SC_MODULE(gas_station) {
  sc_semaphore pump(12);
  void customer1_thread {
    for(;;) {
      // wait till tank empty
      …
      // find an available gas pump
      pump.wait();
      // fill tank & pay
    }
};
```

sc_semaphore: Synthese

- Multiport-Speichermodell mit **sc_semaphore**
  - Semaphor beschreibt Anzahl gleichzeitig realisierbarer Schreib-/Lesezugriffe

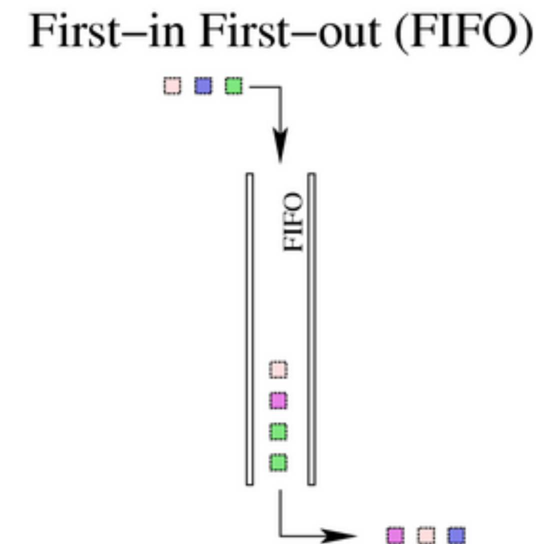
```
class multiport_RAM {
  sc_semaphore read_ports(3);
  sc_semaphore write_ports(2);
  …
  void read(int addr, int& data) {
    read_ports.wait();
    // perform read
    read_ports.post();
  }
  void write(int addr, const int& data) {
    write_ports.wait();
    // perform write
    write_ports.post();
  }
  …
};//endclass
```

sc_semaphore: Synthese (2)

- Weitere Beispiele
  - Zuteilung von Zeitschlitzen in TDM (time division multiplex)-Verfahren, z.B. bei Telekommunikation
  - Kontrolle von Tokens in Token Ring-Netzwerken
  - Schaltinformation für besseres power management

sc_fifo

- **sc_fifo<*T*>** ist verbreitetster Channel für Modellierung auf Architekturebene
  - First-in first-out Warteschlangen (i.e., FIFOs) werden häufig zur Verwaltung von Datenflüssen verwendet
  - In frühen Phasen des Architekturentwurfs einfach durch die unbeschränkte STL **list<*T*>** *(einfach verkettete Liste)* implementierbar
- In späteren Stufen des Entwurfs:
  - FIFO-Größen sind bestimmt/bekannt
  - SystemC-Typ **sc_fifo<*T*>** kann dann detailliertere Modelle beschreiben



sc_fifo (2)

- Die Klasse **sc_fifo<*T*>** erbt von und implementiert zwei Schnittstellenklassen
  - ***sc_fifo_in_if<T>*** und
  - ***sc_fifo_out_if<T>***
- Benennung nicht intuitiv!
  - "**in**"-Interface verwendet zum **Lesen** von FIFO und
  - "**out**"-Interface zum **schreiben** in die FIFO
- Die Standardtiefe von **sc_fifo<*T*>** beträgt 16.
- Datentyp der FIFO-Elemente (**Typname**) muss angegeben werden
  - Eine **sc_fifo<*T*>** kann beliebige Datentypen enthalten, auch komplexe und große Strukturen
    - z.B. ein TCP/IP-Paket oder einen Festplattenblock

sc_fifo (3)

- **Beispiele:**
  - FIFOs können Daten zwischen Bildverarbeitungsprozessor und Bus puffern
  - Pufferung von Datenpaketen in Kommunikations-systemen während der Übertragung über Netzwerk

```
sc_fifo<ELEMENT_TYPENAME> NAME(SIZE);

NAME.write(VALUE);
NAME.read(REFERENCE);
… = NAME.read() /* function style */
if (NAME.nb_read(REFERENCE)) { // Non-blocking
                               // true if success
  …
}
if (NAME.num_available() == 0)
  wait(NAME.data_written_event());
if (NAME.num_free() == 0)
  next_trigger(NAME.data_read_event());
```

sc_fifo und KPNs

- Einige Architekturmodelle basieren auf Kahn-Prozess-netzwerken
  - KPNs verwenden *unbegrenzte* FIFOs als Verbindungsmechanismus
- **sc_fifo<*T*>**
  - *nicht unbegrenzt, blockierendes Lesen/Schreiben*
  - Für KPNs verwendbar, wenn maximale Tiefe bekannt oder bestimmbar ist
  - Bestimmung der Tiefen, so dass Erzeuger und Verbraucher von Tokens keinen Deadlock erzeugen

sc_fifo und KPNs: Beispiel

```
SC_MODULE(kahn_ex) {
  …
  sc_fifo<double> a, b, y;
  …
};
// Constructor
kahn_ex::kahn_ex() : a(24), b(24), y(48)
{
  …
}
void kahn_ex ::stim_thread() {
  for (int i=0; i!=1024; ++i) {
    a.write(double(rand()/1000));
    b.write(double(rand()/1000));
  }
}
void kahn_ex::addsub_thread() {
  while(true) {
    y.write(kA*a.read() + kB*b.read());
    y.write(kA*a.read() - kB*b.read());
  }//endforever
}
void kahn_ex::monitor_method() {
  cout << y.read() << endl;
}
```

sc_fifo für Software

- Vielfältige Verwendung von FIFOs in Software
  - z.B. als Mailboxen und Warteschlangen
- Bei großen Objekten ist es effizienter, Pointer auf die Objekte auszutauschen
  - Erspart Kopieraufwand
- Bei Verwendung von Pointern sichere Pointer verwenden:
  - z.B. **shared_ptr<*T*>** aus BOOST
- Für Software-FIFOs ist STL evtl. geeigneter
  - z.B. STL **list<*T*>**, um unbekannte Anzahl Stimuli einer Testbench zu verwalten
- Prinzipiell liesse sich **sc_fifo<*T*>** auf Verhaltensebene synthetisieren
  - Abhängig vom Hersteller des Synthesewerkzeugs

Deterministische Modelle synchroner Hardware

- **sc_signal** (und **sc_buffer**) verwenden das ***evaluation-update*** Paradigma:
  - Jeder Channel hat 2 Speicherstellen:
    - Aktueller Wert und
    - Neuer Wert
  - Writes aktualisieren den neuen Wert
  - Reads lesen den aktuellen Wert
- **request_update**(): von **write**() aufgerufen, als Folge ruft Simulationskern in der Updatephase für jeden Channel, der ein Update anfordert, **update**() auf
- **update**() kopiert den neuen Wert in den alten Wert, kann aber auch Konflikte auflösen oder Events erzeugen
- Evaluate-update-Zyklus ermöglicht *deterministische* Kommunikation

sc_signal

- **Syntax:**
  - **sc_signal** <*datatype*> *signame* [,*signame*] ..;
  - *signame*.**write**(*newvalue*)

    write beinhaltet Phase, in der Verhalten evaluiert wird und Aufruf von protected **sc_prim_channel::request_update**();

    Aufruf von **sc_signal::update**() ist nicht sichtbar, erfolgt in Updatephase als Folge von **request_update;**

    In jedem δ–Zyklus kann nur *ein einzelner Prozess* auf Channels vom Typ **sc_signal** schreiben. Der letzte Wert bleibt gültig.
  - *signame*.**read**(*varname*)

sc_signal: Beispiel

```
int                    c;
sc_signal<sc_string>   sig;
// Initialisierung während 1. Deltazyklus
sig.write("Hello");
c=1;
cout << "c: " << c << " "
        << "sig:" << sig << endl;
wait(SC_ZERO_TIME);
// Zweiter Deltazyklus
c=2;
sig.write("World");
cout << "c: " << c << " "
       << "sig:" << sig << endl;
wait(SC_ZERO_TIME);
// Dritter Deltazyklus…
```

Ausgabe:
c: 1 sig: ' '
c: 2 sig: 'Hello'

Tip: Suffix “_sig” für Signale verwenden, um verzögerte Updates anzuzeigen

Gefährlich: Überladener "="-Operator

- Die Schreibweisen
  - *varname* = *signame*.**read**();
  - *signame* = *newvalue*;
  - *varname* = *signame*;

  sind auch zulässig
- ***Gefährlich***, da bei dieser Schreibweise der evaluate-update Zyklus nicht sichtbar ist!
- Deprecated!

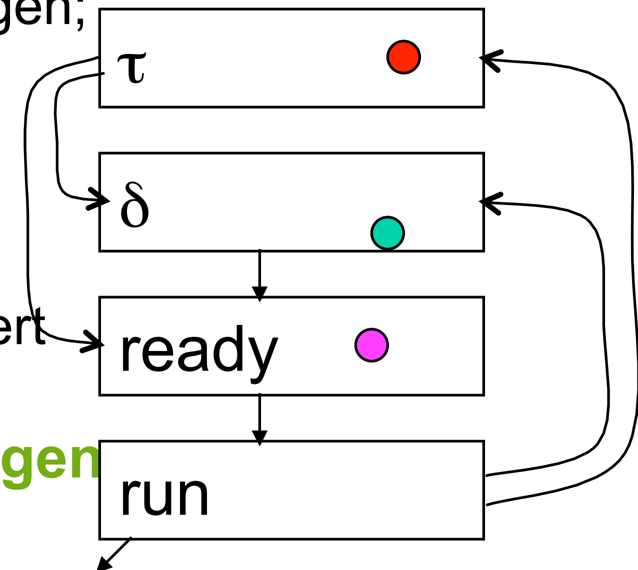
Darstellung des Kontrollflusses

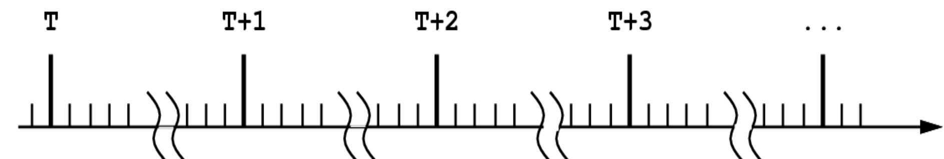
Solange ≥ 1 Prozess in τ ist // Makroskopische Zeit
 Solange ≥ 1 Prozess in "δ" // δ-Zeit
  Solange ≥ 1 Prozess in "ready" // selbe δ-Zeit
  { Wähle beliebigen Prozess
   Ausführung: Evaluierung von Signaländerungen;
   Erzeugt evtl. Event-Benachrichtigungen
   - Sofort (→ in "ready" stellen),
   - Verzögert (→ in "δ" stellen mit Zeit 0)
   - Zeitabhängig (→ Wartezustand mit Zeit)
   Bis Prozess beendet (**return**) oder suspendiert (**wait**()-Aufruf); Prozess an "ready" }

Aktualisiere ausstehende Signaländerungen

Prozesse in "δ" → "ready";

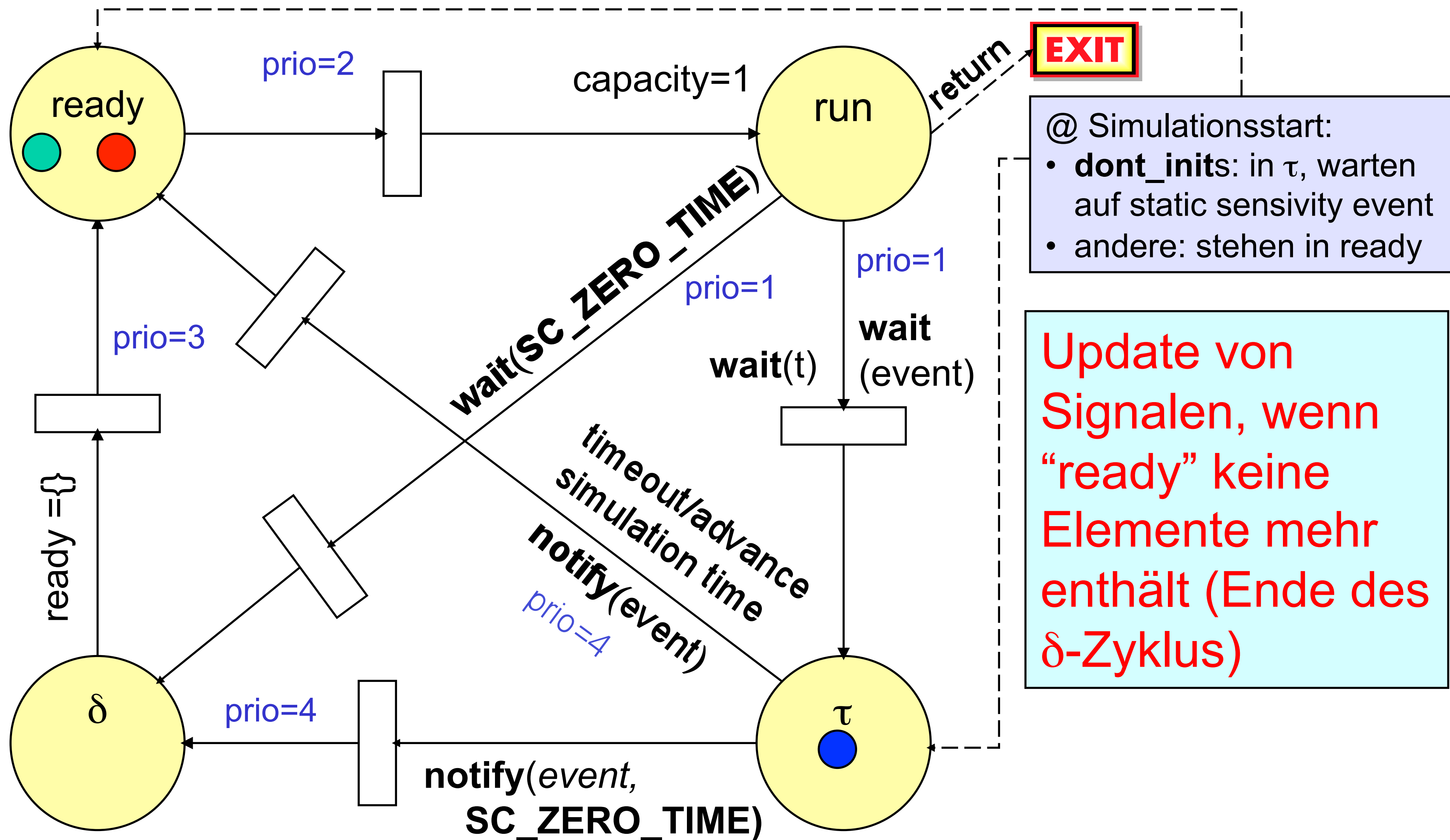
Falls ∃ Prozess ∈ τ : Zeit erhöhen





Übergänge zwischen Thread-Zuständen

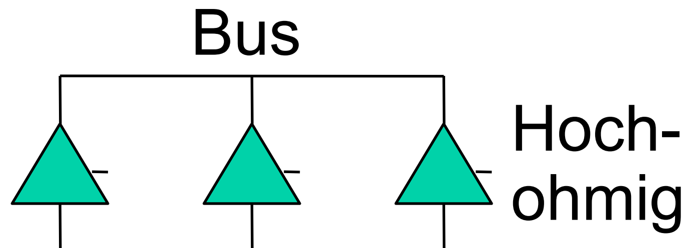
– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ activity chart → Warteschlangenmodell –



© m. engel, p. marwedel informatik 12, 2011

- diagram not found elsewhere

Mehrfaches Schreiben in einem δ-Zyklus

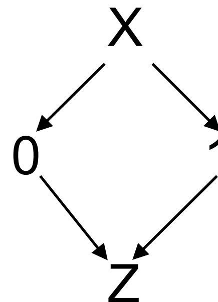


Syntax:

- **sc_signal_resolved** *name*;
- **sc_signal_rv**<*width*> *name*; //*

Semantik identisch zu **sc_signal**<**sc_logic**>,
aber mehrere Schreibzugriffe in einem δ-Zyklus erlaubt.
Auflösung ist standardmäßig wie folgt definiert:

A\B	**'0'**	**'1'**	**'X'**	**'Z'**
'0'	'0'	'X'	'X'	'0'
'1'	'X'	'1'	'X'	'1'
'X'	'X'	'X'	'X'	'X'
'Z'	'0'	'1'	'X'	'Z'



Änderung der Auflösungs-funktion ist unhandlich (siehe Black & Donovan)

* **rv** steht für "*resolved vector*"

Zusammenfassung

- Tankstellenbeispiel
- Channels
  - **sc_mutex,**
  - **sc_semaphore**
  - **sc_fifo,**
- **sc_signal,**
  - Determinismus
  - δ-Zyklen
  - **sc_signal_resolved**

© m. engel, p. marwedel, informatik 12, 2011