

## **Proseminar (3 LP)**

Zellularautomaten und diskrete komplexe Systeme  
im Sommersemester 2019

## **Ausarbeitung**

von **Klaus Philipp Theyssen**, Matr.nr. 2061578

## **Thema**

Ferdinand Peper and Jia Lee (2018)  
*On Non-polar Token-Pass Brownian Circuits*  
Reversibility and Universality, S.299-311

## **Erklärung**

gemäß §6 (11) der Prüfungsordnung Informatik (Bachelor) 2015

Ich versichere wahrheitsgemäß, die Seminararbeit zum Proseminar „Zellularautomaten und diskrete komplexe Systeme“ im Sommersemester 2019 selbstständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde.

---

(Klaus Philipp Theyssen, Matr.nr. 2061578)

# 1 Einführung

Aufgrund von geringerem Energieverbrauch in integrierten Schaltkreisen werden in Zukunft Geräte von Interesse sein, die nur von einzelnen Partikeln geschaltet werden. Dabei befinden wir uns nahe dem Thermalen Limit, wobei die eigentlich Energie zur Signalweiterleitung sehr klein ist und somit auch Fluktuation ein Problem ist. Die in diesem Paper präsentierten Brown'schen Schaltkreise wollen diese Fluktuation aktiv nutzen und sie zur Berechnung verwenden.

## 2 Grundlagen

Tokens sind diskrete, nicht teilbare Einheiten, die Signale modellieren. Zunächst sind die einzelnen Schaltkreis Typen voneinander zu unterscheiden und welche Unterschiede in Funktionalität existieren. Allgemein sind alle hier vorgestellten Schaltkreise asynchron, dies bedeutet, sie haben keinen Zeitgeber und es kann nebenläufig zu Änderungen am Signal kommen. Sie sind delay-insensitive, was heißt, dass Verzögerungen in der Signalweiterleitung nicht zu unkorrekten Berechnungen führt.

### 2.1 Token-based Schaltkreise

Beispiel Petri netze (original Petri netze sind nicht Turing complete, aber es gibt Erweiterungen, die sie Turing complete machen) daher eher der Begriff Universell so verstehen, dass alle möglichen Schaltkreise dieser Schaltkreisklasse mithilfe des T-Elements gebaut werden können. Sie können von einer endlichen Menge an Schaltkreis Primitiven erzeugt werden (Merge, Fork, Tria)

### 2.2 Token-pass Schaltkreise

Äquivalenz von Token-pass und token-based zeigen (ein Kabel wird zu zwei) die entsprechenden TP-Merge, TP-Fork, TP-Tria. Token-pass:

- keine Kabel
- miteinander Verbinden (kreuzend),
- keine Tokens Erzeugen

### 2.3 Brown'sche Schaltkreise

Die bisherigen Token-pass Schaltkreise können keine Deadlocks verhindern. Deshalb brauchen wir Fluktuation, um die Deadlocks wieder aufzulösen mithilfe von Backtracking.

#### 2.3.1 Polare token-pass Schaltkreise

In polaren token-pass Schaltkreisen existiert eine bevorzugte Richtung der Token, gekennzeichnet durch einen Pfeil. Besonders bei den pre-Kabeln und post-Kabeln

(also für Ein- und Ausgabe) ist dies sinnvoll.

### **2.3.2 Nicht polare token-pass Schaltkreise**

Hier können die Tokens frei fluktuieren, allerdings haben die T-Elemente eine Einschränkung (kreise und blank symbole) wie sie Tokens verarbeiten. Außerdem gibt es hier die möglichkeit von Terminatoren, dies sind Kabel mit einem Ende auf dem Tokens sich einfach nur vor und zurück bewegen. Die nicht-polaren Schaltkreise ermöglichen einfacheres Design und Verwendung von weniger T-Elementen, weil bestimmtes Verhalten zum Verhindern von Deadlocks nicht expizit modelliert werden muss.

## **3 T-Element**

Als Grundbausteine

### **3.1 Universalität**

## **4 1-Bit Speicher**

Nun soll anhand eines 1-Bit Speichers die Funktionsweise von brown'schen token-pass Schaltkreisen erläutert werden.

### **4.1 Polarer token-pass 1-Bit Speicher**

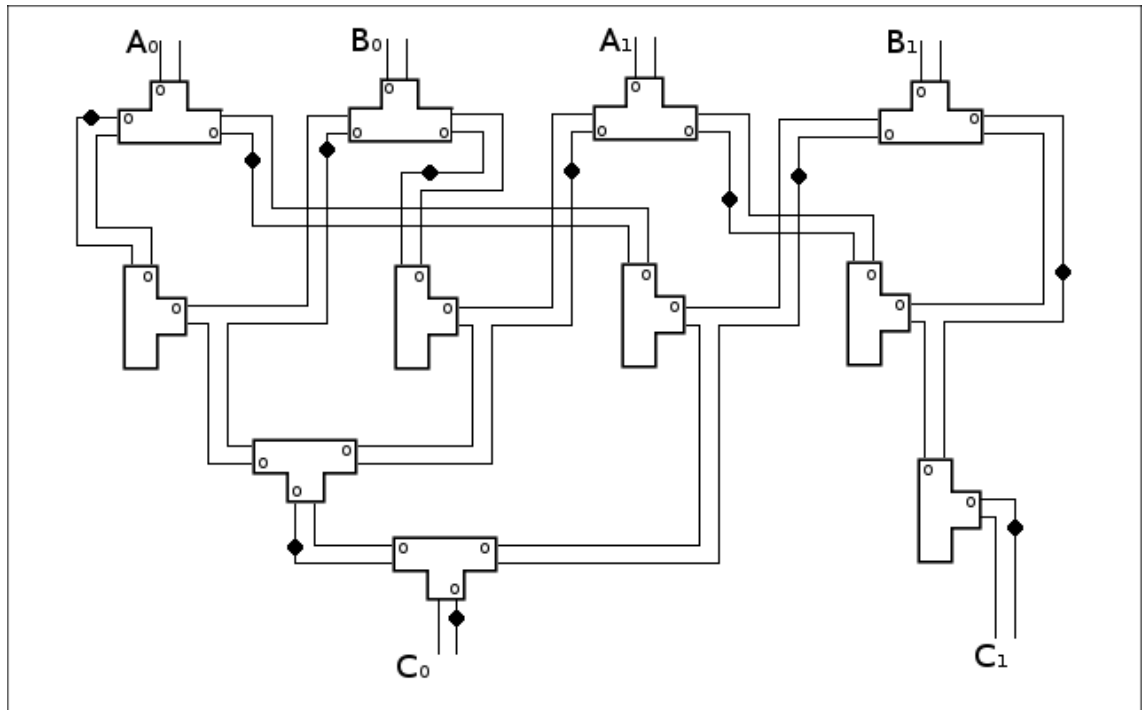
Es werden 8 T-Elemente benötigt, es gibt ein Write und ein Read Bereich es kann zu Überlaufen??? kommen beim schreiben.

### **4.2 Nicht polarer token-pass 1-Bit Speicher**

Es werden nur 7 T-Elemente benötigt auch, hier Konzept von Lesen und Schreiben erklären und Bedeutung/ Nutzen von Terminator Kabeln. Das Deadlock Backtracking zeigen.

## **5 UND-Bauteil**

Als Teil meiner Eigenarbeit im Rahmen dieses Proseminars habe ich ein UND-Gatter mithilfe von nicht-polaren T-Elementen entworfen. Es benutzt den Deadlock backtracking Mechanismus und verundet ansonsten jede mögliche Eingabe mit jeder möglichen Ausgaben. Dabei werden zunächst T-Element zum modellieren der möglichen Wege benutzt, also das Token kann einen davon wählen, was wiederum der richtige ist oder zu einem Deadlock führt. Solange bis sich beide Input Tokens "gefunden"haben. Dann werden bei der C0 Ausgabe zwei Tokens benutzt um einfach die möglichen Wege zu verbinden.



### 5.1 Initialisierung

Es ist eine Initialisierung auf der Abbildung gegeben (die Position der Tokens), außerdem sind die Kreise in den T-Elementen für eine korrekte Berechnung elementar. Diese Initialisierung ist natürlich nicht eindeutig und auch die Anordnung der Elemente ist veränderbar was die Funktion nicht beeinflusst.

### 5.2 Korrektheit

Eine interessante Frage ist nun ob die Korrektheit dieses Schaltkreises beweisbar ist. Wenn wir die angegebene Initialisierung voraussetzen können, können wir uns die Korrektheit schnell klar machen indem :

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

In dem Paper (Non-polar token-pass Brownian Circuits) [1] wird eine neue Art von Schaltkreis vorgestellt der zukünftig in der Nanoelektronik eingesetzt werden könnte. Dabei ist das Konzept von Brown'scher Bewegung der Signale (Tokens) der interessante und neue Aspekt der es ermöglicht neue Arten von Schaltkreisen zu designen und auf ihre Eigenschaften zu untersuchen. Jedoch sind Dinge wie Geschwindigkeit der Berechnung, Korrektheit beweisen und welche Arten von konkreten Implementierungen möglich sind noch zu klären.

## 7 Wann ist Berechnung vorbei?

### 7.1 Geschwindigkeit der Berechnung

#### 7.1.1 Ein langes Kabel vs. viele T-Elemente

### 7.2 Implementierung

Zum Abschluss kommt das Literaturverzeichnis. Die beiden Zeilen

```
\bibliographystyle{plain}  
\bibliography{\jobname}
```

erzeugen das, was man unter dieser Zeile sieht: