

## **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

Bei Elektronik im nanometer Bereich sind Rauschen und Fluktuation entscheidende Faktoren die beim Entwurf entsprechender Schaltkreise zu beachten sind. Desweiteren ist ein geringerer Energieverbrauch anzustreben, daher werden in Zukunft Geräte von Interesse sein die nur von einzelnen Partikeln geschaltet werden. Die in diesem Paper präsentierten Brown'schen Schaltkreise nutzen Tokens als Signale und setzen Fluktuation aktiv bei ihren Berechnungen ein. Die Fluktuation orientiert sich dabei an der Brown'schen Molekularbewegung in der Biologie. Im Paper Fundamentals: Brownian Circuits[2] wurden Brown'sche Schaltkreise vorgestellt und das T-Element, welches für die Klasse von Schaltkreisen universell ist, eingeführt.

## 2 Grundlagen

Tokens sind diskrete nicht teilbare Einheiten die Signale modellieren. Zunächst werden die im Paper behandelten Schaltkreis Typen vorgestellt um Unterschiede in Funktionalität und Aufbau hervorzuheben. Dann wird das T-Element betrachtet und wie sich damit die Universalität der Brown'schen Token pass Schaltkreise ergibt. 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-insentive, was heißt das 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.

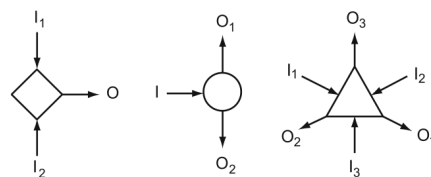


Abbildung 1: Token basierte Bauteile

Sie können von einer endlichen Menge an Schaltkreis Primitiven erzeugt werden (Merge, Fork, Tria)

## 2.2 Brown'sche Schaltkreise

Sie haben wie token-basierte Schaltkreise auch Tokens die sich auf Kabeln bewegen und in Schaltkreiselementen miteinander interagieren. Allerdings wird hier die Interaktion durch Fluktuation getrieben. Gleichzeitig ermöglicht die Fluktuation Deadlocks mithilfe von Backtracking aufzulösen.

## 2.3 Token-pass Schaltkreise

Der Name kommt von der Bauweise dieser Schaltkreise, sie verbinden einfach nur Kabel miteinander durch die Tokens hindurchlaufen. Was uns gleich zu der Eigenschaft bringt das bei Token-pass Schaltkreisen keine Tokens innerhalb des Schaltkreises entstehen oder verschwinden und auch nicht auf andere Kabel wechseln können. Äquivalenz von Token-pass und token-based zeigen (ein kabel wird zu zwei) die entsprechenden TP-Merge, TP-Fork, TP-Tria.

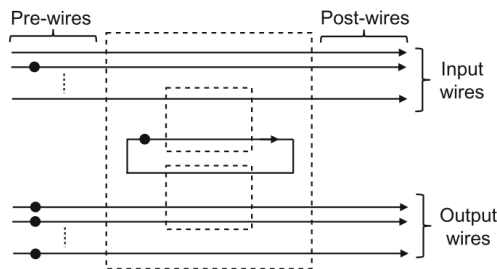


Abbildung 2: Token Pass Schema

### 2.3.1 Polare token-pass Schaltkreise

In polaren token-pass Schaltkreisen existiert eine bevorzugte Richtung der Tokens, 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 explizit modelliert werden muss.

### 3 T-Element

Als Grundbausteine

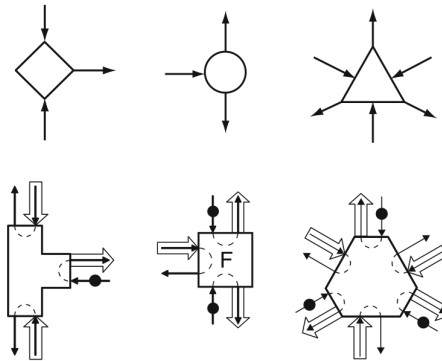


Abbildung 3: Äquivalenz Token based Token pass

#### 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

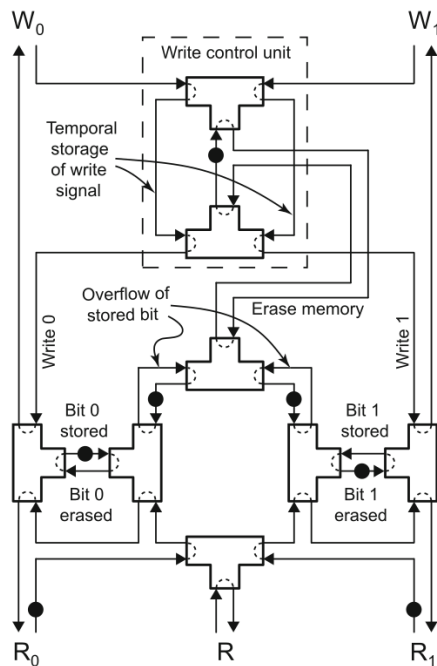


Abbildung 4: 1-Bit Speicher polar token pass

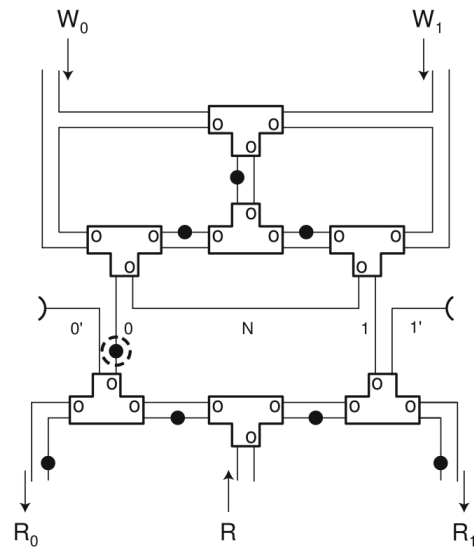


Abbildung 5: 1-Bit Speicher nicht polar token pass

"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)

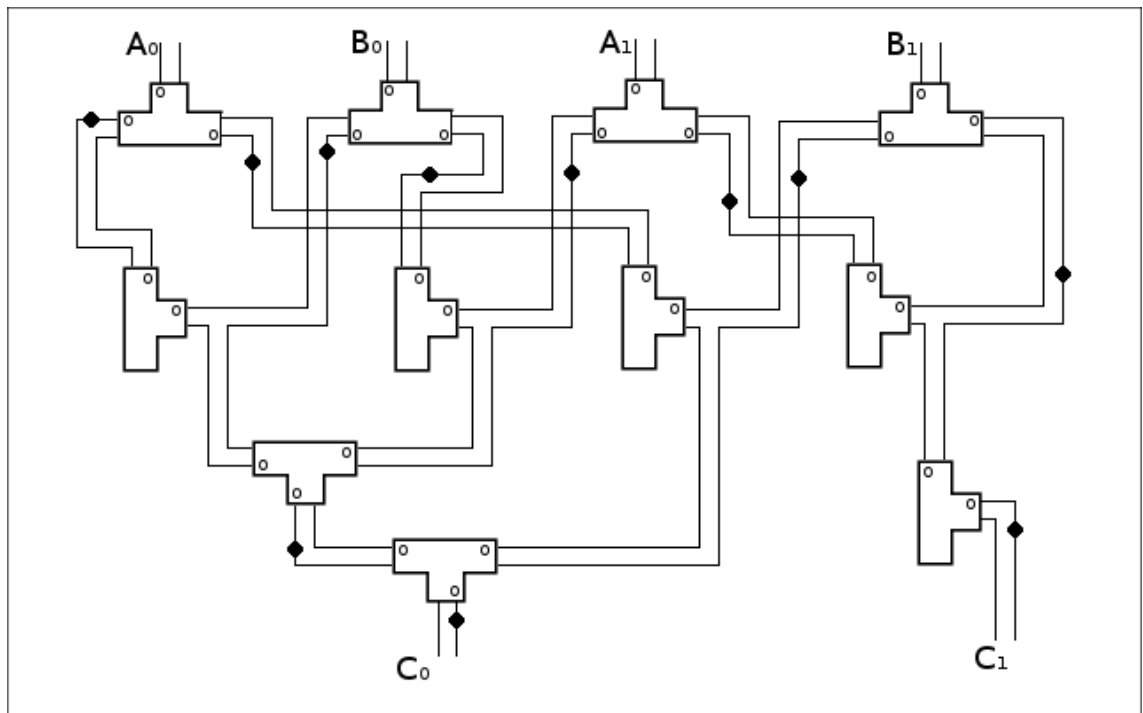


Abbildung 6: UND-Gatter aus 11 T-Elementen

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.

## 6.1 Wann ist Berechnung vorbei?

## 6.2 Geschwindigkeit der Berechnung

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

## 6.3 Implementierung

Zum Abschluss kommt das Literaturverzeichnis. Die beiden Zeilen

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

erzeugen das, was man unter dieser Zeile sieht:

## **Literatur**