
Streszczenie

Systemy P2P są powszechnie stosowane i cały czas rozwijane. Najnowsze zastosowanie protokołów opisywanych w tej rozprawie związane jest z technologiami łańcuchów blokowych (*ang. Blockchain*) i systemami rejestrów rozproszonych (*ang. Distributed Ledger Technology - DLT*). Rozprawa dotyczy wybranych problemów efektywności oraz niezawodności zdecentralizowanych protokołów P2P (*ang. peer-to-peer protocols*) ze szczególnym uwzględnieniem protokołów opartych o klasyczną konstrukcję systemu Chord [SMK⁺01]. Najważniejszy wkład w rozprawę stanowią wyniki z siedmiu prac, w tym trzech publikacji z czasopism polskich (autora rozprawy) oraz czterech publikacji z czasopism zagranicznych (współautorstwo). W rozprawie omówione zostały wybrane problemy sieci P2P - między innymi problem doboru możliwie najlepszego schematu redundancji danych dla systemów opartych o paradygmat DHT, problem rozspójnienia sieci P2P, oraz problem tzw. jednorodności. Zaprezentowane zostały modyfikacje klasycznego protokołu Chord określane jako Suma Prosta Chord oraz Fałdowy Chord i wyniki dotyczące jednorodności tych konstrukcji.

Główne wyniki rozprawy są zawarte w następujących rozdziałach

1. Replikacja i (r, s) -kody

- Omówienie metod wprowadzania nadmiarowych danych w sieci P2P i analiza tzw. symetrycznej replikacji. Omówienie modelu opartego na klasycznej replikacji oraz na tzw. (r, s) -kodach (erasure codes).
- Wyznaczenie tzw. progu odporności dla protokołu Chord w modelu erasure codes (na podstawie pracy [Mar12]).
- Wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów, które należy losowo usunąć z sieci, aby otrzymać moment pierwszej utraty informacji w modelu erasure codes (na podstawie pracy [Mar12]).
- Wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów, które należy losowo usunąć z sieci, aby otrzymać moment pierwszej utraty

informacji w modelu klasycznej replikacji (na podstawie prac [CKM13], [CKM11]).

- Porównanie technik opartych na replikacji i erasure codes.

2. Problem ze spójnością

- Analiza minimalnej liczby odnośników w protokole Chord (na podstawie pracy [Mar09]).
- Analiza niektórych własności protokołu Kademia (na podstawie pracy [Mar09]).
- Propozycja inicjalizacji sieci opartej na protokole Chord za pomocą protokołu Kademia na początkowym etapie istnienia sieci (na podstawie pracy [Mar09]).
- Analiza spójności grafu protokołu Chord (rozszerzenie pracy [Mar10]).

3. Jednorodność sieci P2P

- Przedstawienie modelu matematycznego opisującego modyfikacje protokołu Chord (na podstawie pracy [KM15]),
- Wyznaczenie wartości oczekiwanej długości tzw. minimalnych i maksymalnych obszarów kontrolowanych w protokole Sumy Prostej Chord (na podstawie pracy [KM15]).
- Twierdzenia dotyczące wartości oczekiwanej długości tzw. minimalnych i maksymalnych obszarów kontrolowanych w protokole Folded Chord (praca [CKM10]).

Rozdziały zawierające oryginalne wyniki poprzedzone zostały wprowadzeniem w tematykę badań, przeglądem dotychczasowych wyników znanych z literatury oraz opisem technik matematycznych użytych do rozwiązania problemów opisywanych w tych rozdziałach. W osobnym rozdziale znajdują się najważniejsze oznaczenia stosowane w rozprawie oraz dowody ważnych twierdzeń wykorzystywane do pokazania głównych wyników rozprawy.

Summary

P2P systems are widely used and constantly developed. The latest application of the protocols described in this dissertation is related to Blockchain and Distributed Ledger Technology - DLT. This PhD thesis concerns selected problems of efficiency and reliability of decentralised P2P protocols with particular emphasis on protocols based on classical construction of Chord system [SMK⁺01]. The most important contribution to the dissertation are the results from seven publications, including three publications from Polish papers (author) and four international publications (co-author). In the dissertation selected problems of P2P networks are discussed - in particular the problem of selecting the best possible redundancy schema for systems based on DHT paradigm, P2P disconnection problem and the so called uniformity problem. The modifications described as Direct Union of Chord and Folded Chord are presented with results of the uniformity of those constructions.

The main results are enclosed in the following chapters

1. Replication and (r, s) -codes
 - Discussion of the methods of introducing redundant data to P2P network and analysis of Symetric Replication Scheme. Presentation of the model based on classical replication and so called (r, s) -codes.
 - Calculation of the so called resistance threshold for the erasure codes model (based on work [Mar12]).
 - Determination of the expected value of the number of nodes that have to be randomly deleted from the network to obtain the moment of the first data loss in the erasure codes model (based on work [Mar12]).
 - Determination of the expected value of the number of nodes that has to be randomly deleted from the network to obtain the mo-

ment of the first data loss in the classical replication model (based on work [CKM13], [CKM11]).

- Comparisson of the techniques based on replication and erasure codes.

2. The connectivity problem

- Analysis of the minimal number of fingers in Chord protocol (based on work [Mar09]).
- Analysis of the selected properties of Kademia protocol (based on work [Mar09]).
- Proposal of the initialisation of the network based on Chord protocol with Kademia protocol at the initial stage of the network (based on work [Mar09]).
- Chord graph consistency and connectivity analysis (extension of result from work [Mar10]).

3. Uniformity of P2P network

- Presentation of the mathematical model describing modifications of Chord protocol (based on work [KM15]),
- Calculating the expected value of the length of the so called minimal and maximal controlled areas in Direct Union of Chord protocol (based on work [KM15]).
- Theorem about the expected value of the length of so called minimal and maximal controlled areas in Direct Union of Chord protocol (based on work [CKM10]).

Chapters containing the original results are preceded with the introduction to the subject of research, review of existing results known from the literature and with the description of mathematical techniques used to solve problems described in those chapters. In a separate chapter the most important notation from the thesis is enclosed with the proof of theorems used to show the main results from the dissertation.