

# VU Research Portal

## Decentralized k-Clique Matching

Chmielowiec, A.

2014

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Chmielowiec, A. (2014). *Decentralized k-Clique Matching*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

## SAMENVATTING

# Gedecentraliseerde $k$ -Clique Matching

Als twee of meer merken samenwerken om gezamenlijk een nieuw product te creëren, een bundel van producten aan te bieden, of om een gezamenlijke marketingcampagne op te zetten, noemen we deze samenwerking een brand alliance. Een voorbeeld van een brand alliance is de partnerschap tussen Nike en Apple resulterende in de *Nike+iPod Sports kit*, een apparaat voor het bijhouden van trainingsprogramma's van renners.

Een van de doorslaggevende factoren voor het succes van brand alliances is de keuze van passende partners. Echter, het vinden van passende partners kan een complexe en tijdrovende taak zijn. Met name geldt dit als we het grote aantal merken in ogenschouw nemen, wat betekent dat het aantal mogelijke combinaties van twee of meer merken enorm is. Tegelijkertijd laat elk van deze merken zich leiden door hun eigenbelang, wat het bereiken van een overeenkomst nog lastiger maakt.

Het bovengenoemde probleem, betreffende het vormen van de meest veelbelovende partnerschappen uit een verzameling van merken, kan gemodeleerd worden als een *weighted  $k$ -clique matching* probleem of als een mogelijke generalisatie daarvan. Neem hiervoor aan dat elk merk kan worden uitgedrukt als een knoop van een graaf, en dat de fitness van een partnerschap tussen twee merken kan worden uitgedrukt in het gewicht van een lijn van de graaf. De  $k$ -clique matching bestaat dan uit een verzameling losse cliques, elk met  $k$  knopen. Het doel is dan het vinden van een verzameling met het hoogste totaalgewicht van cliques. Een mogelijke generalisatie van dit probleem is het minder strikt zijn betreffende de grootte van de cliques, of betreffende van het aantal cliques per knoop in de clique matching.

In dit proefschrift stellen wij voor om de genoemde problemen op een volledig

gedecentraliseerde manier op te lossen, waarbij elk merk een node ('knoop') in een computernetwerk is. In het bijzonder letten we op fairness, schaalbaarheid en robuustheid van onze algoritmes, alsook op de kwaliteit van de  $k$ -clique matching voorgesteld door deze algoritmes. We ondersteunen de ideeën in dit proefschrift met zowel theoretische analyse als experimentele validatie.

We beginnen met de bespreking van gedistributeerde, zelf-stabiliserende, approximatie (benaderings) algoritmes voor het oplossen van een weighted  $k$ -clique matching probleem en generalisaties daarvan. In deze algoritmes worden cliques gevormd door lokale beslissingen van elk node, enkel gebaseerd op informatie uit de directe, nabijgelegen, buurt. De fairness van deze algoritmes komt voort uit het feit dat alle nodes dezelfde code uitvoeren, zonder dat een node een speciale rol heeft die tot een voorkeurspositie in het systeem zou kunnen leiden. Daarnaast: hoewel de beslissingen van de nodes van nature uit eigenbelang worden genomen, waarbij elk node het gewicht van zijn eigen clique probeert te maximaliseren, zorgen de algoritmes er voor dat nodes de keuzes uit hun buurt respecteren. Dit leidt nodes tot de vorming van een *stabiele* clique matching, waarbij er geen groep van nodes bestaat die liever een clique buiten de matching vormt.

Naast stabiliteit van de resulterende  $k$ -clique matching, bewijzen we ook dat het totale gewicht van de  $k$ -clique matching op zijn hoogst  $k$  maal erger is dan de optimale  $k$ -clique matching. Hoewel deze benaderingsfactor niet hoog is, proberen wij hem niet te optimaliseren. Dit doen wij omdat voor toepassingen waarbij nodes inherent in eigenbelang dienen, en dus voornamelijk bezig zijn met het maximaliseren van de eigen keuzes in plaats van de globale status, de kwaliteit van de totale  $k$ -clique matching ons minder belangrijk lijkt dan het zorgen voor fairness van de algoritmes, en de stabiliteit van de uiteindelijke oplossing.

Tot slot wordt de robuustheid van onze algoritmes gewaarborgd door hun eigenschap van zelf-stabilisering. Per definitie garandeert deze eigenschap dat onze algoritmes goed kunnen herstellen van niet-systematische fouten, zoals nodes die bij het systeem komen of die het systeem verlaten, of het verloren dan wel anderszins mis gaan van berichten.

Hoewel onze algoritmes een korte convergentietijd hebben (lineair met het aantal cliques in de resulterende clique matching), is hun zwakke punt dat de kosten voor communicatie en berekening snel groeien als het aantal burens per node groeit. Als maatregel voor de schaalbaarheidsproblemen, gerelateerd aan computationele kosten, stellen we verschillende heuristieken voor. Deze heuristieken impliceren elk verschillende afwegingen, van een lagere kwaliteit van de oplossing tot hogere communicatie-kosten, tot een mogelijk langere convergentietijd.

Daarnaast laten we zien hoe deze heuristieken gecombineerd kunnen worden met gossiping protocollen. Deze protocollen kunnen voor nodes, voor een deel

van het netwerk, de gewenste eigenschappen identificeren. Bijvoorbeeld: een deelverzameling van willekeurige of gewenste burens. Het gebruik van gossipping protocollen heeft nog een ander positief effect, namelijk op het schaalbaarheidsprobleem betreffende de noodzaak van nodes om volledige informatie van de dichtstbijzijnde burens te bezitten. We gebruiken gossipping ook nog op een andere manier: als vervanger van het broadcasten van berichten. Dit vermindert de communicatiekosten van onze algoritmes.

We hebben de bovenstaande bevindingen tot een coherent raamwerk gecombineerd. Zodoende hebben we een efficiënte, volledig gedistribueerde  $k$ -clique matching dienst gecreëerd die gebruikt kan worden voor de vorming van brand alliances. Daarnaast is onze dienst toepasbaar voor elk probleem dat gekarakteriseerd wordt door niet-overlappende groepen van nodes (of althans groepen van nodes met een beperkte overlap).