

Μελέτη δικτύων που αποτελούνται από κόμβους που δρούν εγωιστικά

Λέξεις-Κλειδιά: εγωιστική δρομολόγηση (*selfish routing*), θεωρία παιγνίων, τίμημα της αναρχίας.

1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μια μεγάλη προσπάθεια για το σχεδιασμό δικτύων από οντότητες που επικοινωνούν χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μιας γενικής αρχής που παραδοσιακά χρησιμοποιήθηκε για να εγγυηθεί την καλή λειτουργία (π.χ., συνεκτικότητα) του δικτύου. Για παράδειγμα στα *ad-hoc* δίκτυα, η τοπολογία του δικτύου προκύπτει σαν αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ των κόμβων. Ειδικότερα σε ένα *multi-hop* δίκτυο η επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων εξαρτάται από τη συνεργασία των ενδιάμεσων κόμβων οι οποίοι θα πρέπει να προωθήσουν την πληροφορία έτσι ώστε να βρει τον τελικό αποδέκτη. Η επικοινωνία αυτή είναι εγγυημένη σε ένα δίκτυο στο οποίο υπάρχει μια κεντρική αρχή που 'εξαναγκάζει' τους κόμβους να συνεργαστούν. Αν όμως δεν υπάρχει τέτοια κεντρική αρχή, αυτή η επικοινωνία δεν είναι εγγυημένη. Αυτό οφείλεται στην *εγωιστικότητα* του κάθε κόμβου. Δηλαδή στην προσπάθεια του κάθε κόμβου να μεγιστοποιήσει το κέρδος που έχει εκείνος από κάθε επικοινωνία, χωρίς να ενδιαφέρεται για τα αποτελέσματα των πράξεών του στη συνολική απόδοση του δικτύου. Για παράδειγμα αν η μπαταρία ενός κόμβου v έχει κάποιο κόστος, η προώθηση μηνυμάτων μεταξύ δύο άλλων κόμβων απαιτεί σπατάλη ενέργειας για τον v χωρίς να τον αποζημιώνει. Έτσι λοιπόν ο κόμβος v μπορεί να αποφασίσει να μην προωθεί μηνύματα άλλων. Αν αυτή η συμπεριφορά κυριαρχήσει σε όλους τους κόμβους μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την μηδενική μετάδοση πληροφορίας (*zero throughput*) στο δίκτυο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν '*Tragedy of the Commons*' ([4]). Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την προσφορά κινήτρων στους κόμβους, όπως η αμοιβή τους για τη συνεργασία τους, ή αντι-κινήτρων, όπως η τιμωρία τους για τη μη-συνεργασία τους.

Δύο από τους πιο συνηθισμένους τύπους κινήτρων (ή αντι-κινήτρων) είναι τα *micro-payments* και τα *reputation-based mechanisms*. Ένα σημαντικό στοιχείο που θέλουμε να υλοποιούν αυτοί οι μηχανισμοί, είναι ότι ένας κόμβος που δεν συνεργάζεται δεν θέλουμε να τιμωρείται μόνιμα. Θέλουμε δηλαδή να επανεντάσσεται αν και όταν αλλάξει συμπεριφορά.

Η αρχή λειτουργίας των *micro-payments* σχημάτων είναι η εξής: όταν οι κόμβοι συνεργάζονται λαμβάνουν κάποια πίστωση, την οποία με τη σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να πληρώσουν ενδιάμεσους κόμβους προκειμένου οι τελευταίοι να προωθήσουν τα μηνύματα των πρώτων. Έτσι λοιπόν αν ένας κόμβος αρνείται διαρκώς τη συνεργασία, αργά ή γρήγορα θα μείνει από πίστωση και θα πρέπει να σταματήσει να μεταδίδει πληροφορίες. Σε αυτά τα

πρωτόκολλα, η διαχείριση της πίστωσης γίνεται συνήθως από μια κεντρική αρχή. Παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων υπάρχουν στα [2, 5, 6, 3].

Τα reputation-based συστήματα βασίζονται σε καταλόγους που κρατούν οι κόμβοι και αφορούν τη 'φήμη' των γειτόνων τους, δηλαδή το ποσοστό των μηνυμάτων που εκείνοι προωθούν. Χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία για να αποφασίσουν πόσα μηνύματα πρέπει να προωθήσουν στους γείτονές τους. Ένας τρόπος να αποφασιστεί αυτό είναι χρησιμοποιώντας πίνακες βαθμολογιών: αν η βαθμολογία που έχει δώσει ένας κόμβος u σε έναν άλλο κόμβο v πέσει κάτω από ένα κατώφλι τότε ο u δεν θεωρεί πλέον αξιόπιστο τον v και δεν του προωθεί τίποτα, καταργώντας ουσιαστικά την ακμή (u,v) . Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου μηχανισμού βρίσκεται στο [1].

Το θεμελιώδες ζήτημα που προκύπτει κατά την εφαρμογή πρωτοκόλλων όπως τα παραπάνω είναι: πόσο καλά συμπεριφέρεται το δίκτυο (π.χ., συνεκτικότητα, αριθμός μηνυμάτων που φτάνουν στον προορισμό τους, ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, κλπ.) σε σχέση με τη συμπεριφορά του αν όλοι οι κόμβοι συνεργάζονταν (λόγω της ύπαρξης μιας κεντρικής αρχής);

Αυτά τα ερωτήματα συνήθως μελετώνται με μεθόδους της θεωρίας παιγνίων. Στην προκειμένη περίπτωση οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να θεωρηθούν σαν αυτόνομοι παίκτες. Καθένας από αυτούς επιλέγει μια στρατηγική η οποία του μεγιστοποιεί το κέρδος του. Μας ενδιαφέρει η συμπεριφορά του δικτύου σε καταστάσεις ισοροπίας Nash (*Nash equilibria*). Αυτές είναι καταστάσεις στις οποίες κανείς παίκτης δεν έχει κέρδος να αλλάξει τη στρατηγική του (θεωρώντας ότι οι στρατηγικές των άλλων παικτών δεν αλλάζουν). Μας ενδιαφέρει λοιπόν να μελετήσουμε κατά πόσο το δίκτυο παραμένει συνεκτικό σε κάθε τέτοιο σημείο ισοροπίας; Επίσης, ποιός είναι ο λόγος του αριθμού μηνυμάτων που φτάνουν στον προορισμό τους στη χειρότερη περίπτωση σε ένα τέτοιο σημείο ισοροπίας προς τον αριθμό μηνυμάτων που αποστέλλονται επιτυχώς όταν το δίκτυο έχει μια κεντρική αρχή (*τίμημα της αναρχίας*); Γενικώς μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το τίμημα της αναρχίας (*price of anarchy*) των σημείων ισοροπίας Nash που μας δείχνει πόσο χάνει σε αξιοπιστία και δυνατότητες το σύστημά μας στη χειρότερη περίπτωση αν οι παίκτες συμπεριφέρονται με ιδιοτέλεια.

2 Μερικοί ορισμοί

Η περιγραφή ενός βασικού reputation-based συστήματος είναι η παρακάτω.

Η στρατηγική κάθε κόμβου συνίσταται στη ροή που στέλνει στους διάφορους αποδέκτες, την δρομολόγηση που αποφασίζει για αυτή τη ροή, τη ροή (για την οποία είναι ενδιάμεσος κόμβος) που είναι πρόθυμος να προωθήσει και μια μη-αρνητική τιμή (*threshold*) για κάθε εξερχόμενη ακμή. Ο reputation-based μηχανισμός λειτουργεί ως εξής: αν το ποσό της ροής το οποίο προωθείται από τον κόμβο x στον κόμβο y (συμπεριλαμβανομένης της ροής που ξεκινά από τον x), και κόβεται από τον y είναι περισσότερο από την τιμή του *threshold* που κρατά ο x για τον y , τότε ο x αποσυνδέει την ακμή (x,y) . Αργότερα, ο κόμβος y μπορεί να αποφασίσει να κόβει λιγότερη ροή και σε αυτή την περίπτωση η ακμή (x,y) ξανασυνδέεται. Το κέρδος (*utility function*) κάθε κόμβου αυξάνεται με τη ροή που ξεκινά από αυτόν τον κόμβο και φτάνει τον προορισμό της και με τη ροή που φτάνει σε αυτόν τον κόμβο. Το κέρδος μειώνεται με τη ροή που στέλνεται από αυτόν τον κόμβο αλλά δεν φτάνει τον προορισμό της και με τη ροή που προωθείται από αυτόν τον κόμβο (αναπαριστώντας έτσι το γεγονός ότι ο κόμβος πρέπει να ξοδέψει ενέργεια για να στείλει πληροφορίες).

3 Ανοιχτά προβλήματα - Προτεινόμενη έρευνα

Προτείνουμε τη μελέτη του παραπάνω μοντέλου και ειδικότερα την ανάλυση της συμπεριφοράς του σε καταστάσεις ισοροπίας Nash. Επίσης η πρόταση διαφοροποιημένων μοντέλων για τα οποία υπάρχουν ενδείξεις ότι αποδίδουν καλύτερα.

Βιβλιογραφία

- [1] S. Buchegger and J.-Y. Le Boudec. Performance Analysis of the CONFIDANT Protocol: Cooperation Of Nodes Fairness In Dynamic Ad-hoc NeTworks. In *Proceedings of MOBIHOCA02*, 2002.
- [2] L. Buttyan and J.-P. Hubaux. Stimulating Cooperation in Self-Organizing Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications*, vol. 8(5), pp. 579--592, 2003.
- [3] S. Eidenbenz, G. Resta, and P. Santi. COMMIT: a sender-centric truthful and energy-efficient routing protocol for ad hoc networks with selfish nodes. In *Proceedings of IEEE Workshop on Algorithms for Wireless, Mobile, Ad Hoc and Sensor Networks (WMAN)*, 2005.
- [4] G. Hardin. The Tragedy of the Commons. *Science*, Vol. 162, No. 3859, pp. 1243--1248, December 1968.
- [5] S. Zhong, J. Chen, and Y. R. Yang. Sprite: A simple, Cheat-proof, Credit-based System for Mobile Ad-hoc Networks. In *Proceedings of IEEE INFOCOMA03*, pp. 1987--1997, 2003.
- [6] S. Zhong, L. E. Li, Y. G. Liu, and Y. R. Yang. On designing incentive-compatible routing and forwarding protocols in wireless ad-hoc networks: an integrated approach using game theoretic and cryptographic techniques. In *Wireless Networks*, Vol. 13(6), pp. 799--816, 2007.