Προχωρημένα Θέματα Δικτύων

Μάθημα 1ο

○ Εισαγωγή στη Θεωρία Παιγνίων

Μοντελοποίηση Αυτόνομων Συστημάτων οντοτήτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

- market (αγορά)
- Αυτόνομα συστήματα:
  ↳ αλληλεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς επέμβαση εξωτ. παράγοντα
  - 4G (LTE, LTE-A)
    - Femtocells: access points σε κάθε σπίτι
      Επιλογή συχνοτήτων, ισχύων, άγνοια δικτύου
      Στόχος: Βελτιστοποίηση throughput
    - relays (= μεταγωγοί): επιλογή κόμβου-μεταγωγέα

    - Sensory internet (internet of things)
      Όχι server-client προσέγγιση, προσέγγιση ως συνονθύλευμα κόμβων που παράγουν δεδομένα
- Self-organizing
- Conflict of interest / conflict resolution in resource allocation
  - → Spectrum ①
  - → energy ②
  - → storage / cache ③
  - → time ④
  - → CPU ⑤

  ↳ competition (λόγω πεπερασμένων πόρων)

① Έξέλιξη στο Spectrum → αδειοδότηση TV band
   → cognitive radio

② → Σε επίπεδο συσκευής (μπαταρία)
   → " dataсenters: carbon footprints, περιβάλλον (αποτύπωμα του άνθρακα)

③ Αυξανόμενη πληροφορία

④ Αναγκαιότητα για μετάδοση τη δεδομένη στιγμή

⑤ ανταγωνισμός διεργασιών

- Ιστορικά Στοιχεία

Πρωτεργάτες στη Θεωρία Παιγνίων

↳ 1944: Von Neumann / Morgenstern

↳ 1948: Nash

- Εφαρμογές

  - Economics
  - Τηλ/νίες → Peer-to-Peer, Wireless Networks
  - Βιολογία (evolutionary Biology)

- Υποτομείς Μελέτης

  - Mechanism Design

  Πώς επιβάλλεται εξωτερικός μηχανισμός σε σύνολο εγωιστικών κόμβων με στόχο το global optimum (=κοινωνικά βέλτιστο αποτέλεσμα)

  Selfish ⟷ Socially optimum

  Μηχανισμοί → Rewarding (=επιβράβευση), Penalty (=τιμωρία)

  - Auctions (=Μηχανισμοί Δημοπρασιών)

  Χρησιμοποιείται για δανειοδότηση φάσματος

ΒΗΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΝΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

- Σύστημα από διασυνδεμένους κόμβους
- Μοντελοποίηση με Game Theory
- Υπολογισμός Σημείου Ισορροπίας (Equilibrium Point)
- Σύγκριση αποτελέσματος (Equilibrium Point) με κοινωνικό βέλτιστο (Socially Optimum)

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

1) Player
Οντότητα που συμμετέχει στο παιχνίδι
ΙΔΙΟΤΗΤΑ : Selfishness

Ανάλογα το παιχνίδι:
όφελος: maximize utility function (u_i) (χρήμα)
κόστος: minimize cost function (έξοδα, ενέργεια)
* Στα επόμενα θα θεωρήσουμε maximization προβλήματα

2) Mechanism Design
Σχεδιασμός κανόνων με στόχο να πετύχουμε το κοινωνικό βέλτιστο αποτέλεσμα, αν κ' οι οντότητες που αλληλεπιδρούν, δρουν με γνώμονα το προσωπικό συμφέρον
* Δίνουμε κίνητρα στους κόμβους: incentives

3) Socially Optimal Objective: σύνολο των ωφελιμοτήτων όλων των κόμβων.
Στόχος η μεγιστοποίηση συνολικής ωφελιμότητας:
$\max \sum u_i()$

Πρόβλημα : 2 παίκτες (περιορισμένη περίπτωση) κ' standard resource

$$\left.\begin{array}{l} x_1 + x_2 = 1 \\ U_1(x_1) + U_2(x_2) \end{array}\right\}$$

Στην περίπτωση που 1 εκ των 2 παικτών έχει μεγάλο utility function (χαρακτ. ως πεινασμένος) υπάρχει περίπτωση το (x_1, x_2), που μεγιστοποιεί το utility να αδικεί τον άλλο (χαρακτ. ως μη-πεινασμένος)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ : ΟΛΟΣ Ο ΠΟΡΟΣ ΔΙΝΕΤΑΙ ΣΕ 1 ΕΚ ΤΩΝ ΔΥΟ

$U_1(1) + U_2(0)$: UNFAIR SOLUTION, άδικος καταμερισμός πόρου

ΛΥΣΗ

Ορισμός κι άλλου στόχου :

$$\text{maximize} \ \min\{U_1(x_1), U_2(x_2)\}$$

καταμερισμός πόρου με σκοπό την ίδια ωφελιμότητα κ' για τους δύο.

4) Σημείο Ισορροπίας (Equilibrium Point)

Σημείο λειτουργίας του συστήματος στο οποίο καμία οντότητα που παίζει στο παιχνίδι δεν επωφελείται από εναλλαγή της στρατηγικής της.

Επεξ Αν δεν αλλάξει τπτ στο σημείο ισορροπίας, κανένας παίκτης δεν έχει όφελος να αλλάξει τη στρατηγική του, δεδομένου ότι οι άλλοι παραμένουν στο σημείο αυτό.

5) PoA: Price of Anarchy (Το τίμημα της αναρχίας)

Αναρχία = selfishness

Τι συμβαίνει; Κόμβοι-εγωιστές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κ' καταλήγουν σε σημείο ισορροπίας με συνολικό utility U_i

Άλλο δεδομένο: Η συνολική ωφελιμότητα στο socially optimal point. Δηλαδή, το συνολικό utility όταν οι κόμβοι αλληλεπιδρούν μη-εγωιστικά.

Δηλαδή:

$$\frac{\sum U_i(\text{equilibrium})}{\sum U_i(\text{socially optimum})} \leq 1$$

ή καλύτερα:

$$\frac{\sum U_i(\text{soc.opt})}{\sum U_i(\text{eq})} \geq 1$$

Για το socially optimum: $(x_1^*, \ldots, x_N^*)$, $\sum_{i=1}^{N} x_i^* = 1$

Άρα, το πρόβλημα γραμ. προγραμματισμού:

$$\text{maximize} \quad \sum_{i=1} U_i(x_i)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^{N} x_i = 1$$

Ζητήματα:

→ Υπάρχει σημείο ισορροπίας; <u>Existence</u>

→ $PoA = \frac{\sum U_i(x_1^o, x_2^o)}{\sum U_i(x_1^*, x_2^*)} \geq 1$ <u>PoA minimum</u>

Επιθυμούμε το PoA όσο το δυνατόν μικρότερο

* PoA = 1 σημαίνει ότι είτε κπ το ελέγχει, είτε ο καθένας δρα εγωιστικά, είναι το ίδιο

→ <u>Uniqueness</u>, characterize space of equilibrium (δυνατή η ύπαρξη πολλών equilibrium)

→ <u>Convergence</u> (= σύγκλιση): ευστάθεια συστήματος

Το πώς παίζουν οι παίκτες κ' πώς εναλλάσσουν τις στρατηγικές τους θα συγκλίνει στο equilibrium.

Καταλήγοντας για το PoA

- $\dfrac{\sum u_i(x_1^*, x_2^*)}{\sum u_i(x_1^o, x_2^o)} \leq 1$, σε προβλήματα βελτιστοποίησης με μεγιστοποίηση ωφέλειας

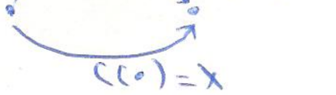
- $\dfrac{\sum u_i(x_1^o, x_2^o)}{\sum u_i(x_1^*, x_2^*)} \geq 1$, σε προβλήματα βελτιστοποίησης με ελαχιστοποίηση κόστους

ΔΗΛΑΔΗ: Οι κόμβοι με εγωιστική συμπεριφορά έχουν μικρότερη συνολική ωφελιμότητα, από αυτή που θα είχαν αν είχαν συνεργατική συμπεριφορά.

ΕΙΔΗ ΠΑΙΓΝΙΩΝ

- load-balancing games (εξισορρόπηση φορτίου)
  π.χ: φόρτος εργασίας κ' επεξεργαστές, διαμοιρασμός tasks έω να μην υπερφορτωθεί κπ επεξεργαστής.

- Routing Games (δρομολόγηση δικτύων



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
Pigou

- Congestion Games (για πεπερασμένα resources)

- Market Sharing Games

- Network Formation Games

Nash Equilibrium (N.E)

Σημείο Ισορροπίας κατά Nash

Το N.E. ενός παιχνιδιού με 2 ή περισσότερους παίκτες είναι η κατάσταση στην οποία κανείς παίκτης δεν έχει να κερδίσει τίποτα, αλλάζοντας τη στρατηγική του μονομερώς (unilaterally).

- $i = 1, \dots, N$: N κόμβοι που συμμετέχουν στο παιχνίδι
- Player i: strategy space S_i : όλες οι πιθανές στρατηγικές που επιλέγει ο κόμβος

  $s_i \in S_i$ (συγκεκριμένη στρατηγική)

- $S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_N$ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ

  $\underline{s} \in S$, $\underline{s} = (s_1, s_2, \dots s_N)$

  ↳ όλες οι στρατηγικές όλων των παικτών

Για ένα παίκτη i :

Στρατηγικές όλων των άλλων παικτών εκτός του i

$\underline{s}_{-i} = (s_1, s_2, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots s_N)$

Άρα $\underline{s} = (s_i, \underline{s}_{-i}) \ \forall i$

↑

όλες οι στρατηγικές

- Utility Function

  $\forall i : u_i(s_1, \dots, s_N)$: συνάρτηση των στρατηγικών του συστήματος

Dominant Strategy

Ένα παίχνιο έχει κυριαρχούσα στρατηγική (Dominant Strategy Solution) αν κάθε παίκτης έχει μια μοναδική βέλτιστη στρατηγική, ανεξάρτητα από τη στρατηγική των άλλων

Για έναν παίκτη i, a_i είναι dom. strat. sol. αν

$$\forall s_{-i} \in S_{-i}, \; \forall b_i \in S_i, \; b_i \neq a$$

s_{-i}: οποιαδήποτε στρατηγική κάνουν οι άλλοι

b_i: στρατηγική του ίδιου

$$u_i(a_i, s_{-i}) > u_i(b_i, s_{-i})$$

→ Παράδειγμα

Player 1	Player 2
$\{a_1, b_1\}$	$\{a_2, b_2\}$
$u_1(s_1, s_2)$	$u_2(s_1, s_2)$

P_1:

a_1 D.S για τον παίκτη ①

$u_1(a_1, a_2) > u_1(b_1, a_2)$

$u_1(\underset{\text{1ος παίκτης}}{a_1}, \underset{\text{2ος παίκτης}}{b_2}) > u_1(b_1, b_2)$

* Utility παίκτη σε αυτό το strategy ό,τι κι να κάνει ο άλλος παίκτης

P_2:

a_2 D.S για τον παίκτη ②

$u_2(a_1, a_2) > u_2(a_1, b_2)$

$u_2(b_1, a_2) > u_2(b_1, b_2)$

* ομοίως

(a_1, a_2) D.S solution για το παίχνιο

$\geq$: weakly dominant

$>$: strongly "

Nash Equilibrium

Η στρατηγική $S^* = (S_1^*, S_2^*, \ldots, S_N^*)$ λέγεται N.E (*)

1ος, 2ος, Nος παίκτης

αν $\forall$ παίκτη i, κ $\forall$ $S_i \neq S_i^*$

στρατηγ παίκτη, στρατηγ equilibrium

είναι $u_i(S_i^*, S_{-i}^*) \geq u_i(S_i, S_{-i}^*)$

ΔΙΑΦΟΡΑ Dominant Solution — Nash equilibrium

(a_1, a_2): N.E : $u_1(a_1, a_2) \geq u_1(b_1, a_2)$

$u_2(a_1, a_2) \geq u_2(a_1, b_2)$

DS: πιο ισχυρό stronger solution concept

Στο Nash equilibrium Point:

$u_i(S_1^*, S_2^*, \ldots, S_{i-1}^*, S_i^*, S_{i+1}^*, \ldots, S_N^*) \geq$

$u_i(S_1^*, S_2^*, S_{i-1}^*, S_i, S_{i+1}^*, \ldots, S_n^*)$

Στο N.E για τον παίκτη i:

Το utility που παίρνει "παίζοντας" S_i^* είναι μεγαλύτερο από το να έπαιζε S_i

maximize $u_i(S_i, S_{-i}^*)$

s.t. $S_i \in \mathcal{S}_i$

Best Response: Ο παίκτης αποκρίνεται με τον καλύτερο τρόπο, βάσει αυτών που παίζουν οι άλλοι

$\hookrightarrow S_i^*$

Prisoners' Dilemma

Prisoner 1 \ Prisoner 2	Silence	Confess
Silence	(-1, -1)	(-9, 0)
Confess	(0, -9)	(-6, -6)

$\forall$ prisoner i

(confess): dominant strategy

(silence): dominated strategy

Iterative Elimination of Dominated Strategies

↳ Αποκλείω silence

Άρα N.E. ((confess, confess)

και $PoA = \frac{\sum u_i(N.E)}{\sum u_i(S.O)} = \frac{-12}{-2} = 6$