

# Αλγοριθμικές Μέθοδοι Βελτιστοποίησης με Έμφαση σε Κατανεμημένα Προβλήματα

Εισαγωγή & Διαδικαστικά του Μαθήματος

Δημήτρης Αμπελιώτης

Επίκουρος Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

# Περιεχόμενα

- Διδάσκων
- Περιεχόμενο του μαθήματος
  - Πλάνο Μαθημάτων
  - Κεντριοποιημένη βελτιστοποίηση
  - Κατανεμημένη βελτιστοποίηση
- Διαδικαστικά

# Διδάσκων

# Διδάσκοντες

- [Δρ. Δημήτρης Αμπελιώτης](#)
  - Επίκουρος Καθηγητής
  - Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Ψηφιακών Μέσων και Επικοινωνίας
  - [ampeliotis@ionio.gr](mailto:ampeliotis@ionio.gr)



# Περιεχόμενο του Μαθήματος

# Περιεχόμενο του Μαθήματος

- Το μάθημα ασχολείται με προβλήματα βελτιστοποίησης, κυρίως κυρτής (convex optimization)
- Η ύλη του μαθήματος οργανώνεται ως
  - (α) Κεντριοποιημένη βελτιστοποίηση
  - (β) Κατανεμημένη βελτιστοποίηση

# Περιεχόμενο του Μαθήματος

## Πλάνο Μαθημάτων

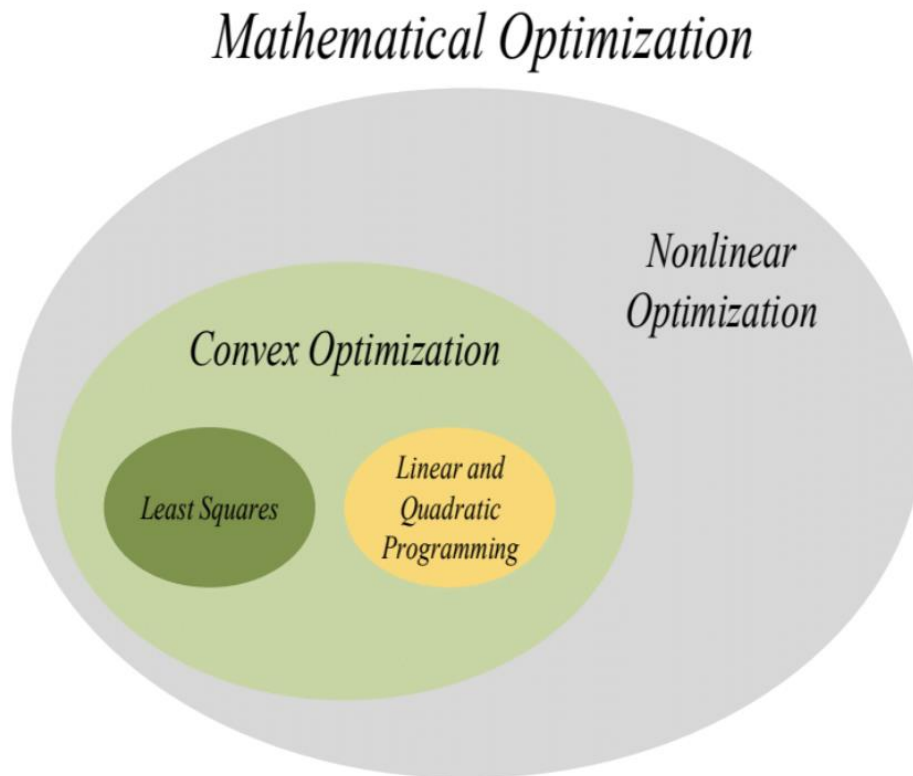
### A. Κεντρικοποιημένη Βελτιστοποίηση

- Εισαγωγή στην (κυρτή) βελτιστοποίηση
- Αλγόριθμοι εγγύτατης κλίσης (Proximal Gradient)
- Θεωρία, αλγόριθμοι και εφαρμογές της Αραιής Μοντελοποίησης
- Εκμάθηση Λεξικών, Αραιή PCA, Συμπλήρωση Πίνακα

### B. Κατανεμημένη Βελτιστοποίηση

- Εισαγωγή στην (κυρτή) κατανεμημένη βελτιστοποίηση
- Κατανεμημένος αλγόριθμος κλίσεων, αλγόριθμος δυικής ανόδου
- Μέθοδος βελτιστοποίησης ADMM
- Τεχνικές συμφωνίας (consensus)

# Περιεχόμενο του Μαθήματος



Optimization Model

$$\begin{aligned} \min \quad & \underbrace{f_0(x)}_{\text{Objective fun.}}, \\ \text{s.t.} \quad & \underbrace{f_i(x) \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m}_{\text{constraints}} \end{aligned}$$

- $x = (x_1, \dots, x_n)$ : optimization variables forming a vector
- **optimal solution**  $x_o$  results in the smallest value  $f_0(x_o)$  among all vectors that satisfy the constraints

Stephen Boyd

*"With only a bit of exaggeration, we can say that, if you formulate a practical problem as a convex optimization problem, then you have solved the original problem. If not, there is little chance you can solve it."*



# Περιεχόμενο του Μαθήματος

Optimization is at the heart of many (most practical?) machine learning algorithms.

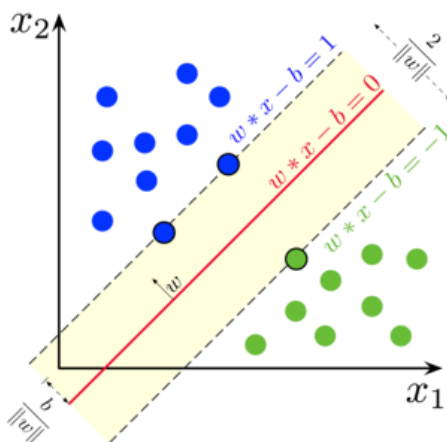
- ▶ Linear regression:

$$\underset{w}{\text{minimize}} \quad \|Xw - y\|^2$$

- ▶ Classification (logistic regression or SVM):

$$\underset{w}{\text{minimize}} \quad \sum_{i=1}^n \log(1 + \exp(-y_i x_i^T w))$$

$$\text{or } \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \quad \text{s.t.} \quad \xi_i \geq 1 - y_i x_i^T w, \xi_i \geq 0.$$



# Περιεχόμενο του Μαθήματος

- ▶ Maximum likelihood estimation:

$$\underset{\theta}{\text{maximize}} \sum_{i=1}^n \log p_{\theta}(x_i)$$

- ▶ Collaborative filtering:

$$\underset{w}{\text{minimize}} \sum_{i \prec j} \log (1 + \exp(w^T x_i - w^T x_j))$$

- ▶  $k$ -means:

$$\underset{\mu_1, \dots, \mu_k}{\text{minimize}} J(\mu) = \sum_{j=1}^k \sum_{i \in C_j} \|x_i - \mu_j\|^2$$

- ▶ And more (graphical models, feature selection, active learning, control)

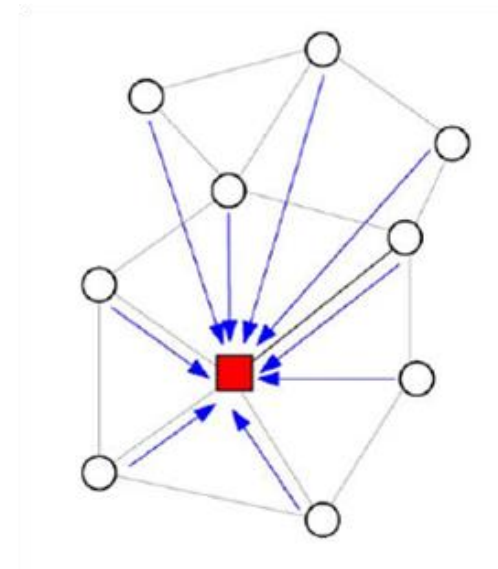
# Περιεχόμενο του Μαθήματος

- Networks are everywhere (Generalized notion of networks)
- The number of networked devices grows fast, and they may employ M2M communication
- Data transmission becomes impractical
  - Need for in-network problem solving
- Signal Processing and Learning Problems
  - Parameter estimation (e.g. frequency estimation)
  - Signal estimation (e.g. remove interference)
  - Detection (e.g. detect the presence of a target)
  - Learning (e.g. learn a suitable signal model)

# Περιεχόμενο του Μαθήματος

## Centralized solutions:

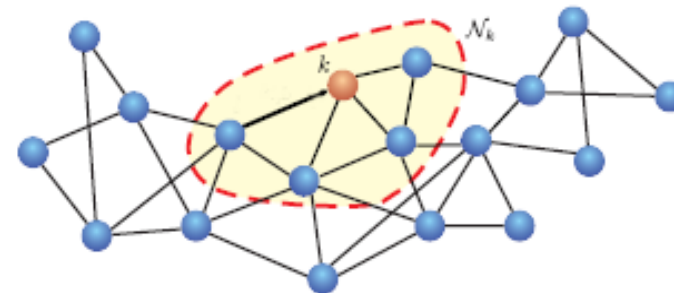
- All nodes send measurements to a “fusion center”
  - High energy consumption
  - High complexity and increased delays
  - Impractical for “streaming data”
  - Single point of vulnerability
  - Privacy concerns
  - **However – Best Achievable Performance**



# Περιεχόμενο του Μαθήματος

## Distributed solutions:

- Nodes communicate locally
- Local computations (in-network processing)
- Mechanisms for proper fusion of the local outcomes



## Objectives:

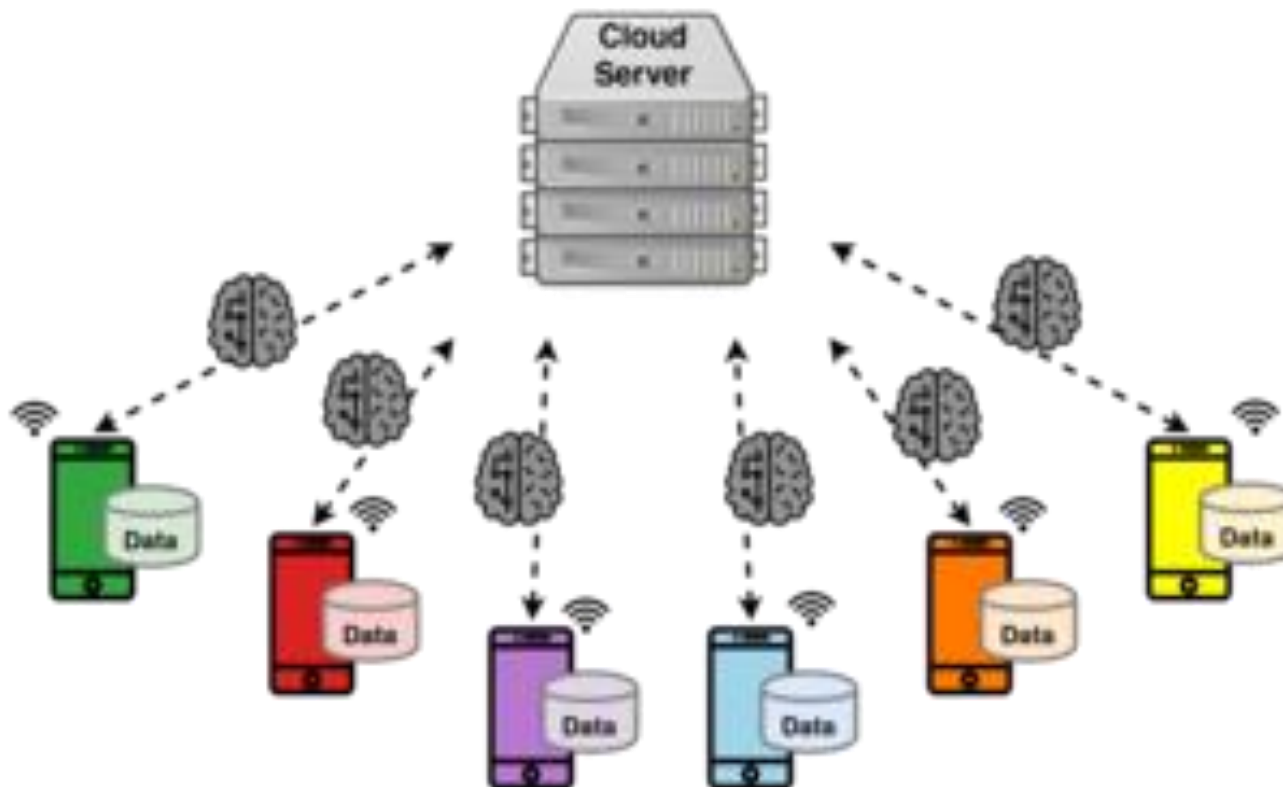
- Achieve/converge to centralized performance
- Do not exchange data, exchange (tentative) outcomes
- Do not require organization (if possible)
- Be resilient to node/network failures

# Περιεχόμενο του Μαθήματος

- Cooperative System Identification, Source Localization
- Collecting (correlated) data sensed from nodes (the so-called **sensor reachback** problem)
- Models for collective motion of animal groups
  - Modeling bird flight formations
  - Study of bacteria motility
  - Modeling bee swarming behavior
  - Cooperative prey herding
- Study of social media / information propagation
  - Opinion Dynamics

# Περιεχόμενο του Μαθήματος

- Federated Learning



# Περιεχόμενο του Μαθήματος

- State Estimation in Microgrids
- Distributed Spectrum Sensing
- Cooperative DoA estimation
  - The pursue for increased bandwidth drives the use of higher carrier frequencies
  - At such high frequencies, geometric channel models have been proposed
  - Agents could cooperate for channel estimation

As new approaches that require less tight assumptions are studied, many more applications will appear



# Διαδικαστικά Μαθήματος

# Διαδικαστικά Μαθήματος

- Site του μαθήματος:
  - <http://xanthippi.ceid.upatras.gr/AMVeKP/>
  - Για ανακοινώσεις, βιβλιογραφία, διαλέξεις
- «Εγγραφή» στο μάθημα:
  - <https://forms.gle/NdCqWXTejpnX3M4m8>
  - Για να γνωρίζουμε ποιοι παρακολουθούν, για να στέλνουμε ανακοινώσεις κ.λπ.

# Διαδικαστικά Μαθήματος

- Αξιολόγηση

- Μέσω μιας εργασίας που θα περιλαμβάνει θεωρητικό και πρακτικό μέρος (υλοποίηση) για κάποιο δοσμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης – **βάρος 40%**
- Παρουσίαση ερευνητικής εργασίας: Κάθε φοιτήτρια/φοιτητής θα αναλάβει μια ερευνητική εργασία (paper), την οποία και θα παρουσιάσει κατά τη διάρκεια του μαθήματος και θα αξιολογηθεί. Οι παρουσιάσεις θα γίνουν κατά τη διάρκεια των τελευταίων μαθημάτων – **βάρος 60%**

# Ερωτήσεις

