

Одиннадцатая независимая научно-практическая конференция «Разработка ПО 2015»

22 - 24 октября, Москва



# Методы прогнозирования процессорной нагрузки

Мелехова А., Кудинова М., Веринов А.

МФТИ (ГУ), Odin

# План презентации

- Задачи предсказания процессорной нагрузки.
- Различные методы предсказания:
  - регрессионные,
  - вероятностные,
  - управление обратной связью,
  - кластеризация.
- Возможные критерии выбора подходящего метода.

# Области применения

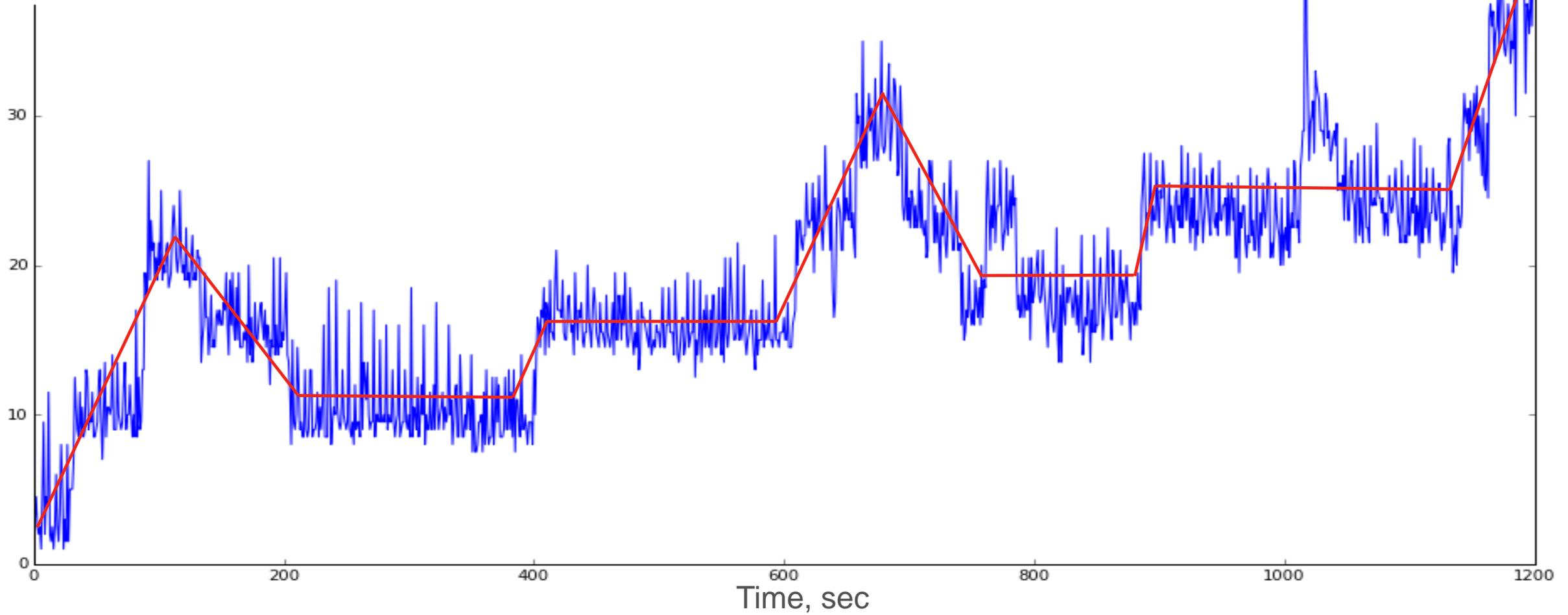
- Оптимальное распределение ресурсов:
  - серверы,
  - GRIDs.
- Миграция виртуальных машин.
- Предсказание энергопотребления.

# Свойства нагрузки

- Характеристики временного ряда нагрузки:
  - горизонт стационарности,
  - автокорреляции.
- Наличие априорной информации о шуме.
- Наличие дополнительных параметров, оказывающих влияние на процессорную нагрузку.

# Временной ряд нагрузки

CPU usage, %



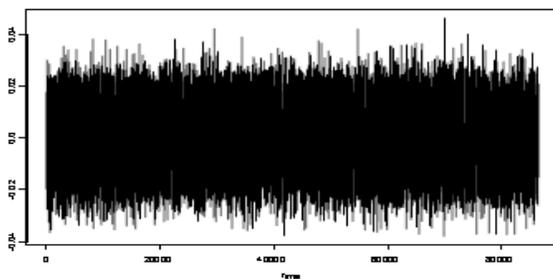
# Методы

- Регрессионные (Box–Jenkins).
- Вероятностные (Байесовский классификатор).
- Управление обратной связью (фильтр Калмана).
- Кластеризация (на основе дополнительных архитектурных параметров).

# Регрессия

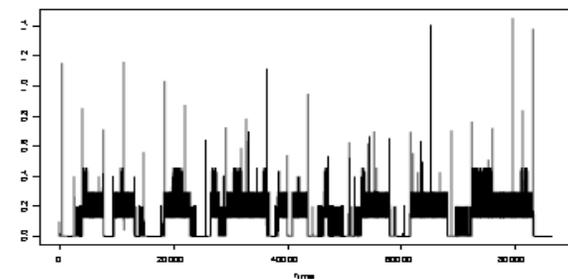
- (AR) Авторегрессия:  $z_t = \sum_{i=1}^p \theta_i z_{t-i} + a_t$ .
- (MA) Модель скользящего среднего:  $z_t = \sum_{j=1}^q \psi_j a_{t-j} + a_t$ .
- ARMA, ARIMA:  $z_t = \frac{\psi(B)}{\theta(B)(1-B)^d} a_t$ , где  $Ba_t = a_{t-1}$ .

Unpredictable Random Signal  $\longrightarrow$  Fixed Linear Filter  $\longrightarrow$  Partially Predictable Signal



$a_t \sim \text{White Noise } (0, \sigma_a^2)$

$$z_t = \sum_{j=1}^{\infty} \psi_j a_{t-j} + a_t$$



$z_t \sim \mu, \sigma_z^2$

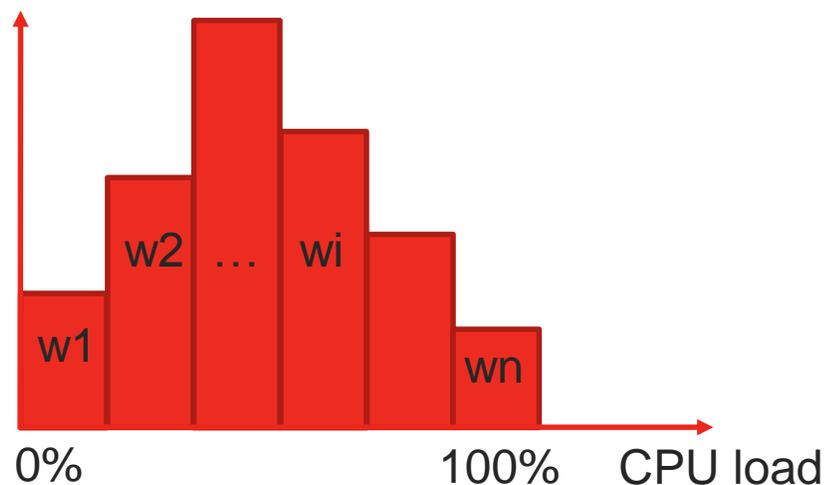
$$\sigma_a^2 \ll \sigma_z^2$$

Credit to P. Dinda "Host load prediction using linear models" 2000.

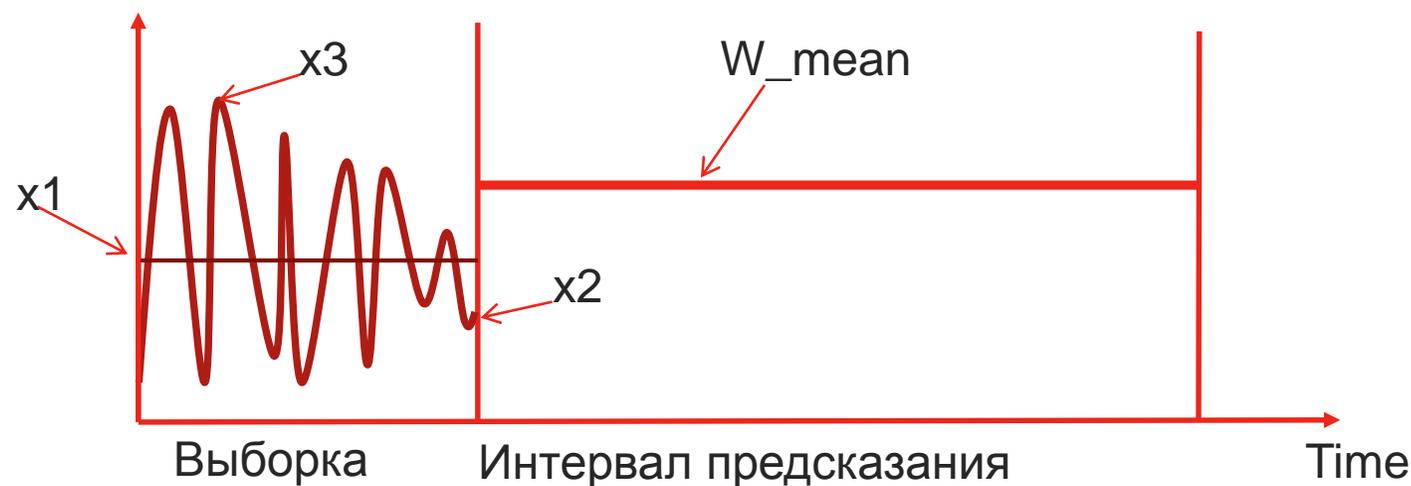
# Байесовский классификатор

- 1) Для каждого класса  $w$  рассчитывается априорная вероятность.
- 2) На основании выборки вычисляется набор параметров нагрузки.

Prior  $P(w)$



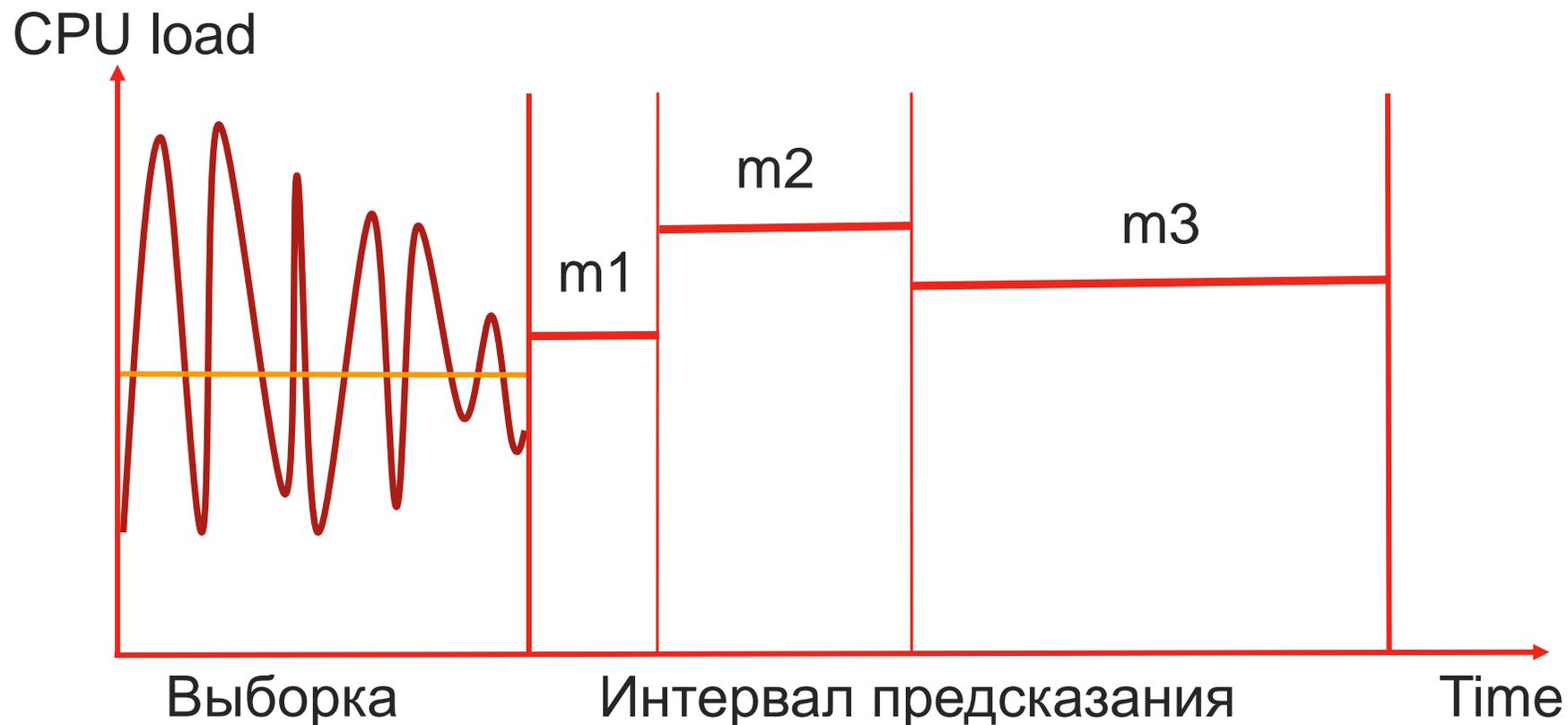
CPU load



- 3) Рассчитываются  $P(w|x)$  для каждого  $w$ : 
$$P(w_i|x_j) = \frac{p(x_j|w_i)P(w_i)}{\sum_{k=1}^m p(x_j|w_k)P(w_k)}$$
- 4) Принимается решение о классификации.

# Предсказание паттернами

- Предсказание средних значений нагрузки на нескольких последовательных интервалах времени.



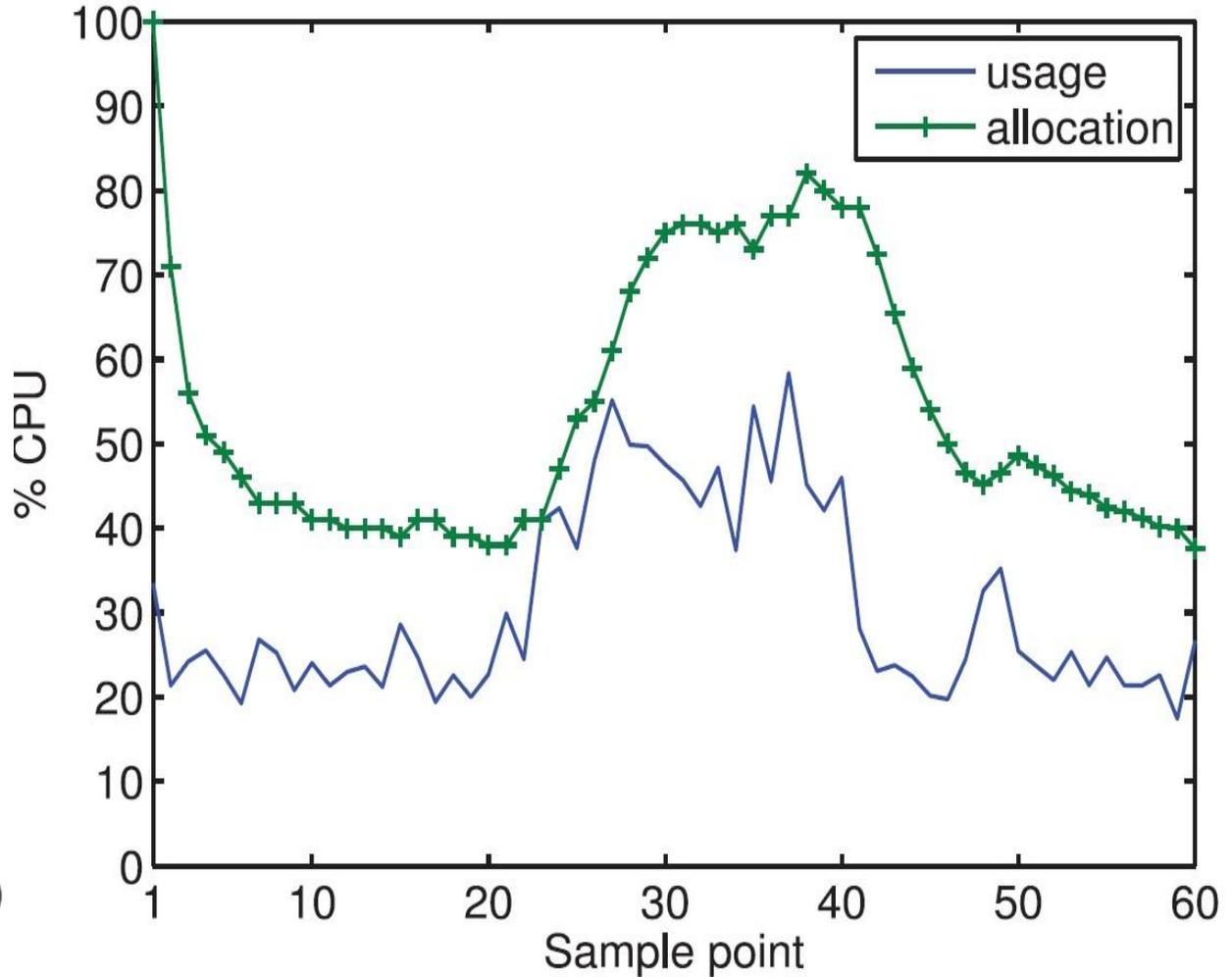
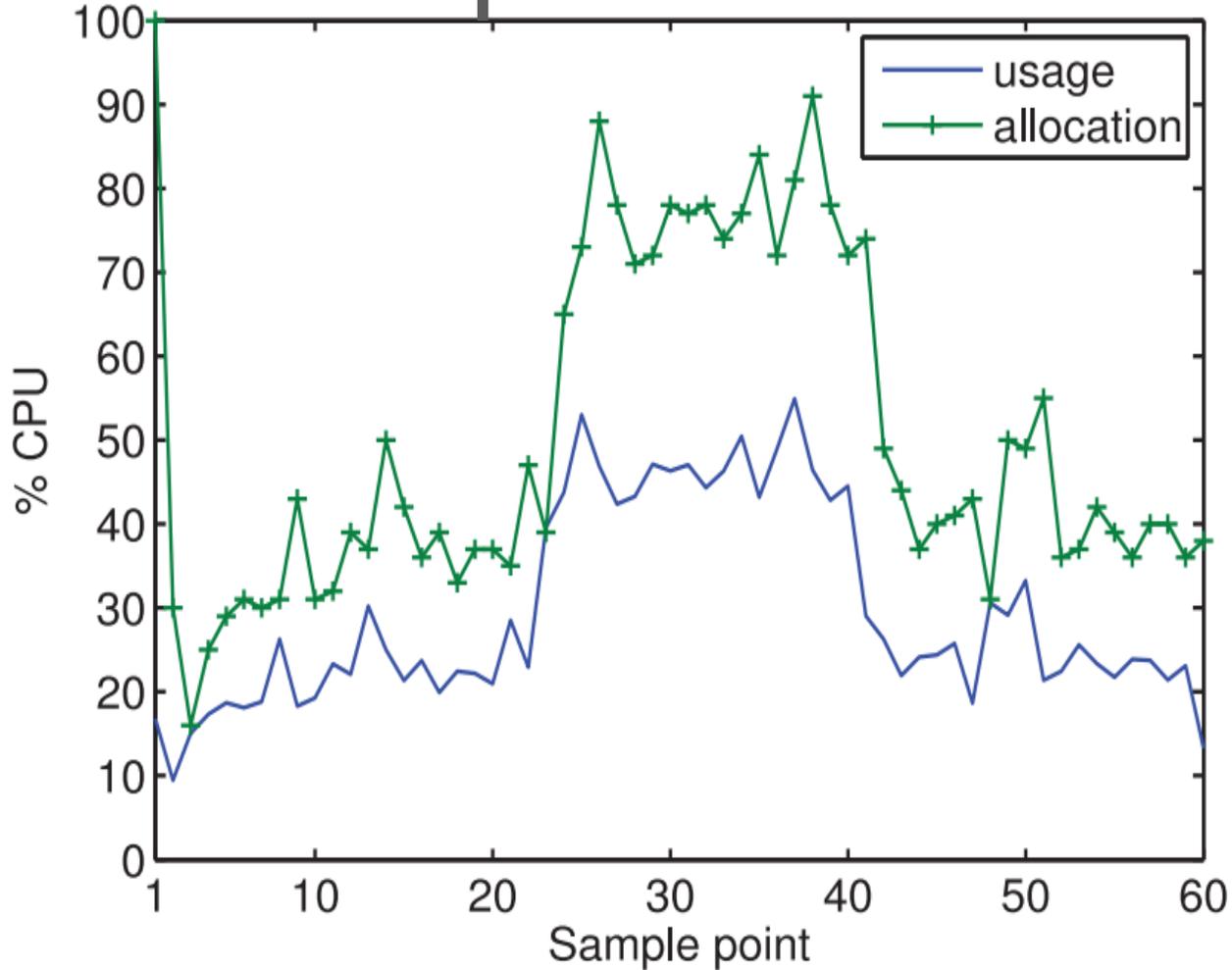
# Управление обратной связью

- Предсказание на 1 шаг вперед.
- Динамическая проверка точности предсказания во время исполнения.
- Уточнение предсказанных значений на следующий интервал с учетом ошибки в предыдущем интервале.

# Фильтр Калмана

- Модель системы:  $u_{k+1} = u_k + t_k$ ,  $t_k$  – нормально распределенный шум.
- $\tilde{u}_{k+1} = \hat{u}_k$  – априорная оценка нагрузки.
- $\hat{u}_k = \tilde{u}_k + K \cdot err_k$  – апостериорная оценка.
- *Калмановский коэффициент усиления* (Kalman gain,  $K$ ) – важность измерений по отношению к априорной оценке.

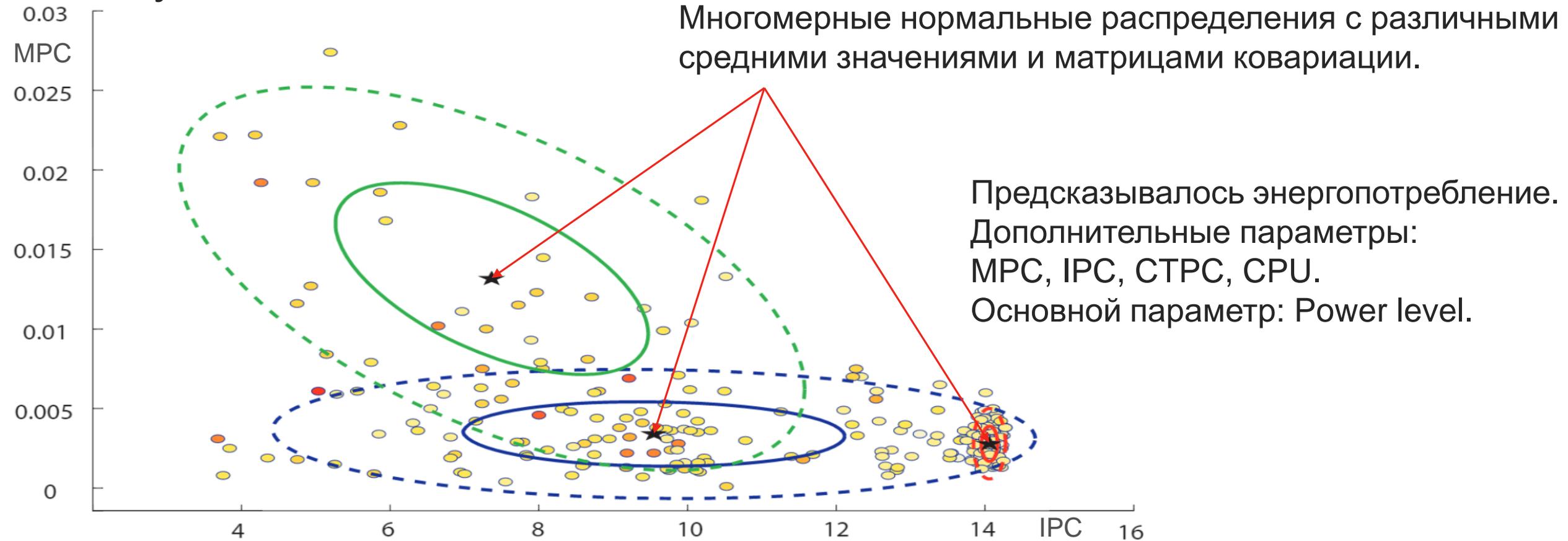
# Фильтр Калмана



Credit to E. Kalyvianaki et al. "Adaptive Resource Provisioning for Virtualized Servers" 2014.

# Кластеризация

- Гауссовы смеси



Credit to G. Dhiman "A system for online power prediction in virtualized environments using Gaussian Mixture Models" 2010.

# Выбор подходящей модели

- Важно знать:
  - требуемый горизонт прогнозирования,
  - связь между нагрузкой на процессор и другими параметрами системы,
  - априорную информацию о поведении системы.
- Изучить характеристики нагрузки:
  - горизонт стационарности,
  - значения автокорреляционной функции.

# Предлагаемый подход

- Определение характеристик нагрузки.
- Выбор нескольких подходящих моделей.
- Сравнение результатов отобранных моделей.

# Буду рада ответить на Ваши вопросы.

- С рассмотренными методами можно более подробно ознакомиться в следующих статьях:
  - AR, ARIMA – *Dinda, P.A. и O'Hallaron, D.R.* Host load prediction using linear models. 2000.
  - Байесовский классификатор – *Di, S. и др.* Host load prediction in a Google compute cloud with a Bayesian model. 2012.
  - Фильтр Калмана – *Kalyvianaki, E. и др.* Adaptive Resource Provisioning for Virtualized Servers. 2014. и *Kalman, R.E.* A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. 1960.
  - Кластеризация методом Гауссовских смесей – *Dhiman, G.* A system for online power prediction in virtualized environments using Gaussian Mixture Models. 2010.