

УПРАВЛЕНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

кибернетика, нелинейная динамика

А.В. Макаренко

`avm@rdcn.ru`

Научно-исследовательская группа «Конструктивная Кибернетика»
Москва, Россия, www.rdcn.ru

Институт проблем управления РАН
Москва, Россия

Учебный курс – Лекция 7

10 мая 2018 г.

ИПУ РАН, Москва, Россия

- 1 Кибернетика
 - Общие положения
 - Анализ и синтез систем управления
- 2 Нелинейная динамика
 - Общие положения
 - Основные феномены н.д.
- 3 Примеры прикладных работ
 - Система распознавания вторжений в «Облако»
 - Обнаружение подвижных подводных объектов
 - Защита магистрального трубопровода
- 4 Заключение

Outline section

- ① Кибернетика
 - Общие положения
 - Анализ и синтез систем управления

- ② Нелинейная динамика
 - Общие положения
 - Основные феномены н.д.

- ③ Примеры прикладных работ
 - Система распознавания вторжений в «Облако»
 - Обнаружение подвижных подводных объектов
 - Защита магистрального трубопровода

- ④ Заключение

Определение понятия

КИБЕРНЕТИКА – наука об общих закономерностях получения, хранения, преобразования и передачи информации в сложных управляющих системах, будь то машины, живые организмы или общество.

Определение понятия

КИБЕРНЕТИКА – наука об общих закономерностях получения, хранения, преобразования и передачи информации в сложных управляющих системах, будь то машины, живые организмы или общество.

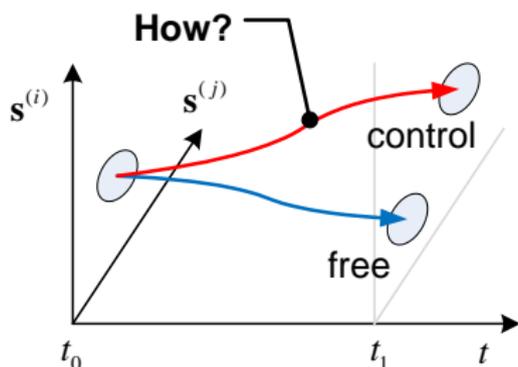
ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ – наука о принципах и методах управления различными системами, процессами и объектами. Теоретической базой теории управления являются кибернетика и теория информации.

Определение понятия

КИБЕРНЕТИКА – наука об общих закономерностях получения, хранения, преобразования и передачи информации в сложных управляющих системах, будь то машины, живые организмы или общество.

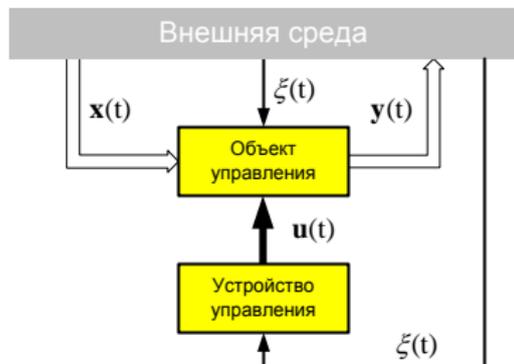
ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ – наука о принципах и методах управления различными системами, процессами и объектами. Теоретической базой теории управления являются кибернетика и теория информации.

УПРАВЛЕНИЕ – целенаправленный перевод (переход) системы Σ посредством управляющего воздействия U из одного состояния S_b в другое – требуемое S_e (определённое целями управления W_u).

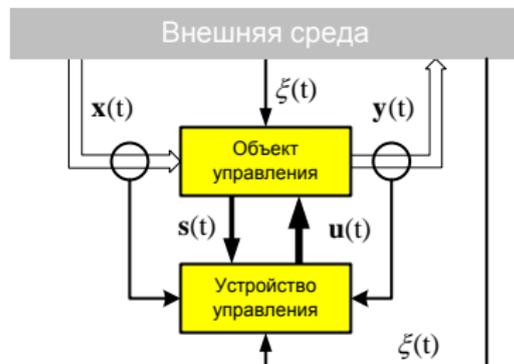


Виды управления

Программное управление



Управление на основе обратной связи



Наблюдаемость

НАБЛЮДАЕМОСТЬ – возможность косвенного определения величин на основе измерения некоторых других величин и использования априорной информации. Наблюдаемость системы, в классическом смысле, это возможность восстановления полного вектора состояния системы, по частичным и/или косвенным измерениям различных величин, с использованием априорной информации.

Наблюдаемость

НАБЛЮДАЕМОСТЬ – возможность косвенного определения величин на основе измерения некоторых других величин и использования априорной информации. Наблюдаемость системы, в классическом смысле, это возможность восстановления полного вектора состояния системы, по частичным и/или косвенным измерениям различных величин, с использованием априорной информации.

ИЗМЕРИМОСТЬ – возможность непосредственного измерения той или иной физической величины.

Наблюдаемость

НАБЛЮДАЕМОСТЬ – возможность косвенного определения величин на основе измерения некоторых других величин и использования априорной информации. Наблюдаемость системы, в классическом смысле, это возможность восстановления полного вектора состояния системы, по частичным и/или косвенным измерениям различных величин, с использованием априорной информации.

ИЗМЕРИМОСТЬ – возможность непосредственного измерения той или иной физической величины.

ОЦЕНИВАНИЕ – обработка данных измерений (наблюдений) с целью уменьшить влияние случайных факторов (ошибок).

Идентифицируемость

ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТЬ – в широком смысле это возможность получения или уточнения по экспериментальным данным формальной модели реального объекта (системы, процесса) выраженной в тех или иных терминах (описанной на том или ином языке).

Идентификация динамической системы (процесса) – это получение или уточнение по экспериментальным данным математической модели этой системы (процесса), выраженной посредством того или иного математического аппарата.

Идентифицируемость

ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТЬ – в широком смысле это возможность получения или уточнения по экспериментальным данным формальной модели реального объекта (системы, процесса) выраженной в тех или иных терминах (описанной на том или ином языке).

Идентификация динамической системы (процесса) – это получение или уточнение по экспериментальным данным математической модели этой системы (процесса), выраженной посредством того или иного математического аппарата.

АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛИ – соответствие модели реальному моделируемому объекту или процессу, в части их свойств, релевантных задаче моделирования. Адекватность – в какой-то мере условное понятие, так как полного соответствия модели реальному объекту (процессу) быть не может, в противном случае это была бы не модель, а сам объект.

Управляемость

УПРАВЛЯЕМОСТЬ – возможность целенаправленного перевода динамической системы посредством управления из одного (текущего) состояния в другое – требуемое.

Адаптируемость

АДАПТИРУЕМОСТЬ – в широком смысле это возможность системы изменять свою структуру, параметры, алгоритмы, методы и цели функционирования и т.п., приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям, с целью сохранения (улучшения) качества (эффективности) своего функционирования.

Outline section

- ① Кибернетика
 - Общие положения
 - Анализ и синтез систем управления

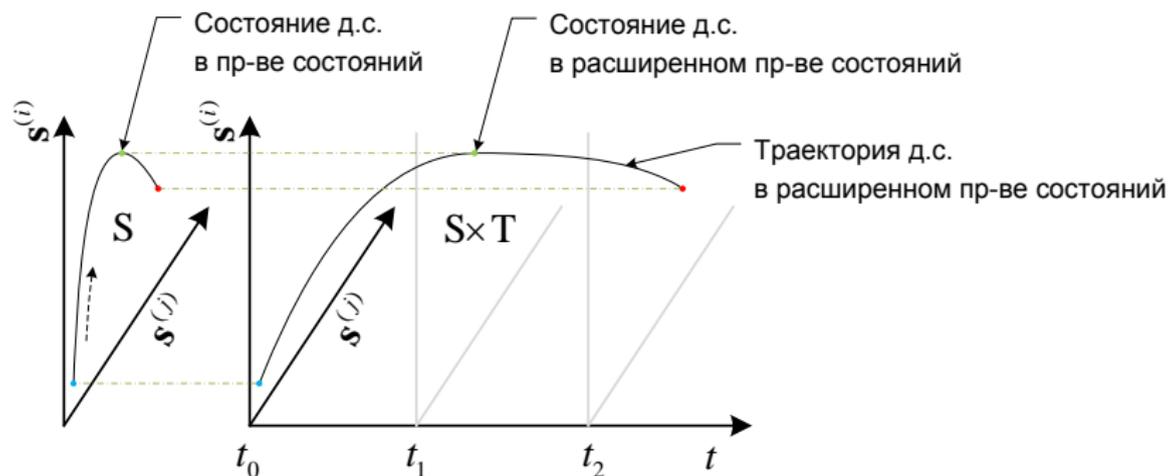
- ② Нелинейная динамика
 - Общие положения
 - Основные феномены н.д.

- ③ Примеры прикладных работ
 - Система распознавания вторжений в «Облако»
 - Обнаружение подвижных подводных объектов
 - Защита магистрального трубопровода

- ④ Заключение

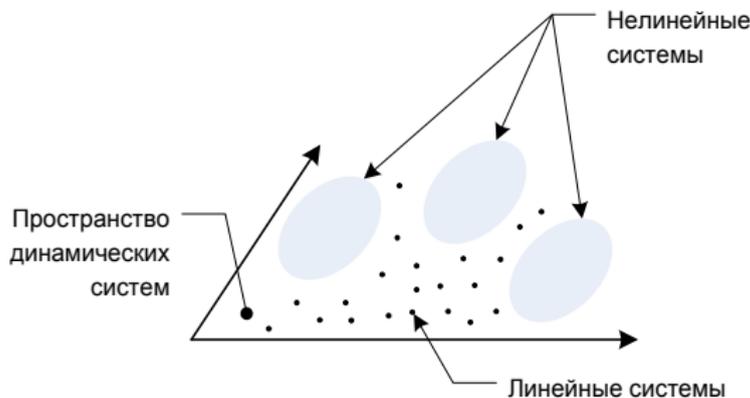
Определение понятия

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – множество связанных элементов, для которого задана функциональная зависимость между временем и состоянием – положением в пространстве состояний каждого элемента системы. Данная математическая абстракция позволяет описывать и изучать эволюцию систем во времени.



Определение понятия

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА – междисциплинарная наука, в которой изучаются свойства нелинейных динамических систем. Нелинейная динамика использует для описания систем нелинейные модели, обычно описываемые дифференциальными уравнениями или дискретными отображениями. Свойства и характеристики нелинейных динамических систем зависят от их состояния.



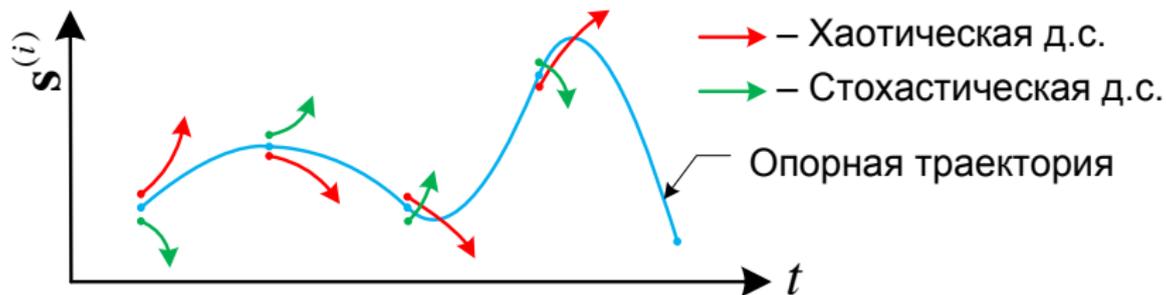
$$\frac{d}{dt} \mathbf{s} \equiv \dot{\mathbf{s}} = \mathbf{f}(\mathbf{s}, \mathbf{p}),$$

$$\mathbf{s}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{s}_k, \mathbf{p}).$$

$$f(x + y) \neq f(x) + f(y)$$

Определение понятия

ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС – явление в теории динамических систем, при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то, что оно определяется детерминированными правилами (законами).



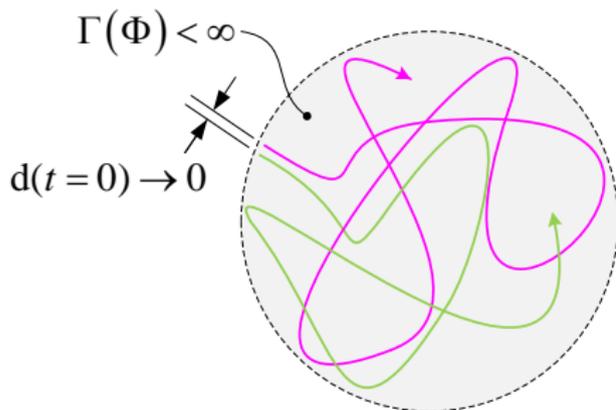
Причиной появления хаоса является неустойчивость (чувствительность) по отношению к начальным условиям и/или параметрам: малое изменение начального условия (параметра) со временем приводит к сколь угодно большим изменениям в динамике системы.

$$d(t) = d(t=0) \exp[h_o t], \quad h_o > 0$$

Определение понятия

ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС – явление в теории динамических систем, при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то, что оно определяется детерминированными правилами (законами).

Эффект перемешивания:



Тип системы:

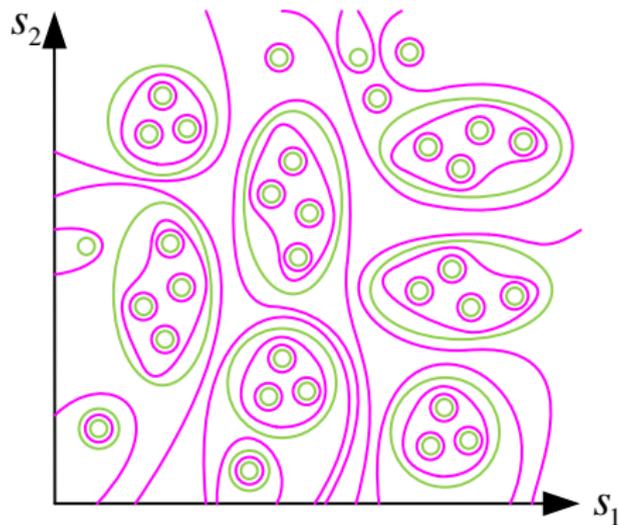
$\Gamma(\Phi) = const$ – Консервативная.

$\Gamma(\Phi) \neq const$ – Диссипативная.

Определение понятия

ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС – явление в теории динамических систем, при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то, что оно определяется детерминированными правилами (законами).

Плотность периодических орбит:



Дополнительные моменты

АТТРАКТОР – множество точек (подпространство) фазового пространства динамической системы, к которому приближается её фазовая траектория с течением времени.

АТТРАКТОР СТРАННЫЙ – такой аттрактор, фазовый портрет которого представляет собой не точку равновесия и не предельный цикл (как для устойчивых, равновесных систем), а некоторую ограниченную область в пространстве состояний системы, по которой происходят «случайные блуждания».

ГОРИЗОНТ ПРЕДСКАЗУЕМОСТИ – характерное время (для системы со странным аттрактором), в пределах которого может быть предсказано, с заданным уровнем статистической надёжности, наиболее вероятное поведение системы.

Дополнительная литература:

- Ю.А. Кравцов, Случайность, детерминированность, предсказуемость. УФН, **158**:5 (1989), 93–122.
- А.Ю. Колесов, Н.Х. Розов, К вопросу об определении хаоса. УМН, **64**:4 (2009), 125–17.

Дискретные отображения

Введём в рассмотрение динамическую систему заданную в виде дискретного отображения:

$$\mathbf{s}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{s}_k, \mathbf{p}),$$

$$\phi_{\mathbf{p}} : S \times K \rightarrow S, \quad \phi_{\mathbf{p}}(\mathbf{s}, k) \equiv \mathbf{f}^k(\mathbf{s}, \mathbf{p}),$$

со свойствами:

$$\mathbf{s} \in S \subset \mathbb{R}^N, \quad \mathbf{p} \in P \subset \mathbb{R}^L, \quad \mathbf{f} \in C^0(S \times P),$$

$$k \in K \subseteq \mathbb{Z}, \quad n \in \overline{1, N}, \quad l \in \overline{1, L}.$$

С системой также свяжем траекторию эволюции её состояния \mathbf{s} : $\{\mathbf{s}_k\}_{k \in K}$.

Показатель Ляпунова

ПОКАЗАТЕЛЬ ЛЯПУНОВА – одна из ведущих диагностических характеристик, определяющих находится ли исследуемая система в режиме хаоса. Он оценивает локальную экспоненциальную расходимость двух близких траекторий и вычисляется через собственные числа матрицы:

$$M_{ij}^k = [\mathbf{G}(\mathbf{s}_{k-1}) \mathbf{G}(\mathbf{s}_{k-2}) \dots \mathbf{G}(\mathbf{s}_0)]_{ij}, \quad \mathbf{G}_{ij}(\mathbf{s}_k) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}_i}{\partial \mathbf{s}^{(j)}} \right|_{\mathbf{s}=\mathbf{s}_k}.$$

Примечание: на практике применяются различные вариации алгоритма Бенеттина. G. Benettin, et al. Lyapunov Characteristic Exponents for Smooth Dynamical Systems and for Hamiltonian Systems; A Method for Computing All of Them. *Meccanica*, vol. 15, pp. 9–20, 1980.

Показатель Ляпунова

ПОКАЗАТЕЛЬ ЛЯПУНОВА – одна из ведущих диагностических характеристик, определяющих находится ли исследуемая система в режиме хаоса. Он оценивает локальную экспоненциальную расходимость двух близких траекторий и вычисляется через собственные числа матрицы:

$$\mathbf{M}_{ij}^k = [\mathbf{G}(\mathbf{s}_{k-1}) \mathbf{G}(\mathbf{s}_{k-2}) \dots \mathbf{G}(\mathbf{s}_0)]_{ij}, \quad \mathbf{G}_{ij}(\mathbf{s}_k) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}_i}{\partial \mathbf{s}^{(j)}} \right|_{\mathbf{s}=\mathbf{s}_k}.$$

Примечание: на практике применяются различные вариации алгоритма Бенеттина. G. Benettin, et al. Lyapunov Characteristic Exponents for Smooth Dynamical Systems and for Hamiltonian Systems; A Method for Computing All of Them. *Meccanica*, vol. 15, pp. 9–20, 1980.

В одномерном случае $N = 1$, задача вырождается и поддается прямому счёту:

$$\Lambda(s_0) = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \ln \left| \frac{d}{ds} f^k(s_0) \right|.$$

Показатель Ляпунова

ПОКАЗАТЕЛЬ ЛЯПУНОВА – одна из ведущих диагностических характеристик, определяющих находится ли исследуемая система в режиме хаоса. Он оценивает локальную экспоненциальную расходимость двух близких траекторий и вычисляется через собственные числа матрицы:

$$M_{ij}^k = [\mathbf{G}(\mathbf{s}_{k-1}) \mathbf{G}(\mathbf{s}_{k-2}) \dots \mathbf{G}(\mathbf{s}_0)]_{ij}, \quad \mathbf{G}_{ij}(\mathbf{s}_k) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}_i}{\partial \mathbf{s}^{(j)}} \right|_{\mathbf{s}=\mathbf{s}_k}.$$

Примечание: на практике применяются различные вариации алгоритма Бенеттина. G. Benettin, et al. Lyapunov Characteristic Exponents for Smooth Dynamical Systems and for Hamiltonian Systems; A Method for Computing All of Them. *Meccanica*, vol. 15, pp. 9–20, 1980.

В одномерном случае $N = 1$, задача вырождается и поддается прямому счёту:

$$\Lambda(s_0) = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \ln \left| \frac{d}{ds} f^k(s_0) \right|.$$

Для случая оценивания Λ на основе наблюдаемой реализации динамического процесса, исторически первым алгоритмом был подход предложенный Вольфом. A. Wolf, et al. Determining Lyapunov exponents from a time series. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 16, pp. 285–317, 1985.

Машинное обучение \Leftrightarrow Нелинейная динамика

Тематика **Вычислительного интеллекта** предполагает конвергенцию двух основных направлений исследований:

- Нелинейная динамика – как основа для оценивания сложных динамических процессов и идентификации сложных динамических систем.
- Машинное обучение – как основа для анализа больших массивов слабоструктурированных данных и порождения над ними моделей, имеющих описательную, объяснительную и предсказательную силу.

При этом **взаимопроникновение** двух дисциплин ещё более сильное:

- Решение отдельных, как правило прикладных, задач нелинейной динамики при помощи нейронных сетей (принимая во внимание универсальную теорему об аппроксимации RNN).
- Применение методов нелинейной динамики в проектировании, обучении и исследовании глубоких нейронных сетей (принимая во внимание нелинейную природу ГНС).

Синхронизация хаоса

Синхронизация хаотических колебаний принадлежит к числу фундаментальных понятий теории нелинейной динамики и теории хаоса. Этот феномен широко распространён в природе, науке, технике и в обществе.

Виды синхронизации хаоса: обобщённая, полная, противофазная, с запаздыванием, частотная, фазовая, синхронизация временных масштабов.

Структура синхронизма систем: перемежаемость между синхронным и несинхронным поведением элементов систем несёт важную информацию о свойствах их динамики.

С физической точки зрения перемежаемость вообще означает появление неких структур различного масштаба в среде (например вихрей, локализованных деформаций, температурных неоднородностей), которая исходно могла быть совершенно бесструктурной на этих масштабах.

С математической точки зрения такое поведение характеризуется наличием редких, но сильных пиков в поведении индикатора структуры – некоей случайной величины.

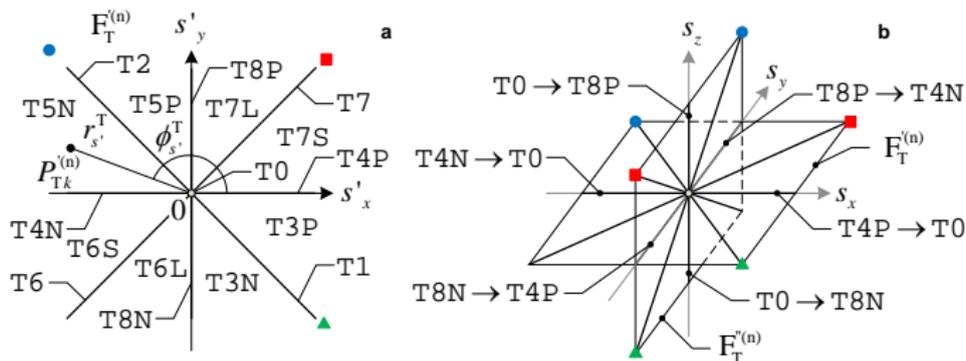
Временная структура синхронизма систем – актуальная, но слабо изученная область.

Определение Т-синхронизации

Определим исходное отображение:

$$\left\{ \mathbf{s}_{k-1}^{(n)}, \mathbf{s}_k^{(n)}, \mathbf{s}_{k+1}^{(n)} \right\} \Rightarrow T_k^{\alpha\varphi}|_n, \quad T_k^{\alpha\varphi} = [T_k^{\alpha\varphi}|_1, \dots, T_k^{\alpha\varphi}|_N].$$

$$T_o^{\alpha\varphi} = \{T0, T1, T2, T3N, T3P, T4N, T4P, T5N, T5P, T6S, T6, T6L, T7S, T7, T7L, T8N, T8P\}.$$



Будем считать динамические системы синхронными в момент времени k , в смысле Т-синхронизации, если выполняется условие $J_k=1$:

$$J_k = \begin{cases} 1 & T_k^{\alpha\varphi}|_1 = \dots = T_k^{\alpha\varphi}|_n = \dots = T_k^{\alpha\varphi}|_N, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

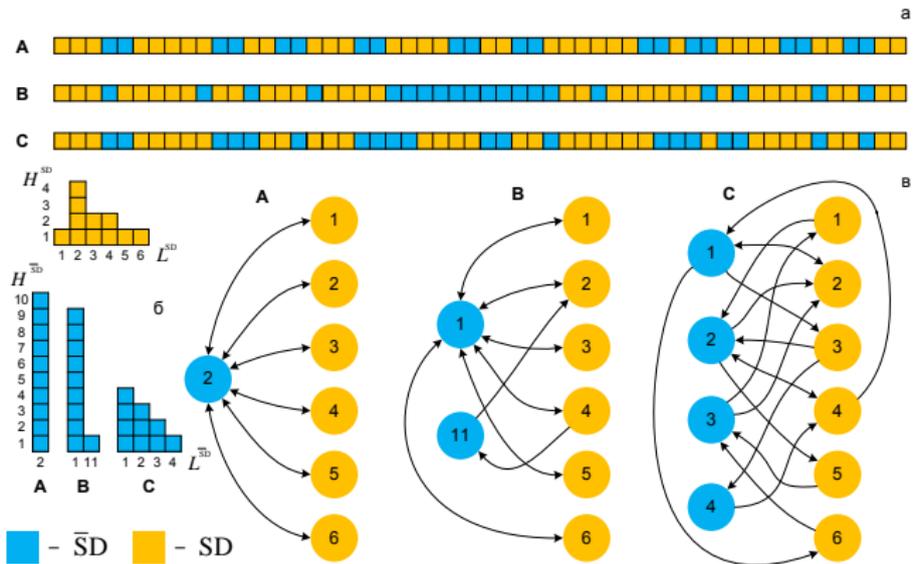
Временная структура синхронизма

Theorem

Индикаторная последовательность

$$\{D_r^{SS}\}_{r=1}^{R^{SS}}, \quad D^{SS} \in \mathbb{Z}_2 = \{\bar{SD} = 0, SD = 1\}$$

является необходимым и достаточным условием описания временной структуры T-синхронизации, и позволяет проводить согласованное рассмотрение десинхронных \bar{SD} и синхронных SD доменов.



Временная структура синхронизма

Theorem

Индикаторная последовательность

$$\{D_r^{SS}\}_{r=1}^{R^{SS}}, \quad D^{SS} \in \mathbb{Z}_2 = \{\bar{SD} = 0, SD = 1\}$$

является необходимым и достаточным условием описания временной структуры T-синхронизации, и позволяет проводить согласованное рассмотрение десинхронных \bar{SD} и синхронных SD доменов.

a

Применение в нейросетевой области

- Анализ синхронности сложных взаимосвязанных динамических систем (структур) и/или процессов с целью формирования субоптимальных первичных информативных признаков.
- Исследование временной структуры синхронизма внутренних рекуррентных слоёв с целью повышения качества функционирования и/или улучшения обучаемости сети.



T-синхронизации: Выводы

- T-синхронизация обобщает ряд известных типов синхронизации.
- Метод применим для исследования многомерных решёток с произвольной топологией.
- Подход применим для анализа экспериментальных данных.
- Анализатор инвариантен к сдвигам и растяжениям фазовых траекторий.
- T-синхронизация позволяет исследовать в замкнутой форме временную структуру синхронизма хаотических систем.



A.V. Makarenko, The Study of Discrete Mappings in TQ-Space. Basic Principles. //Journal of Math. Sci., 2016, Vol. 219, Issue 2, pp. 190-203.
//Journal of Math. Sci., 2016, Vol. 219, Issue 2, pp. 190-203.



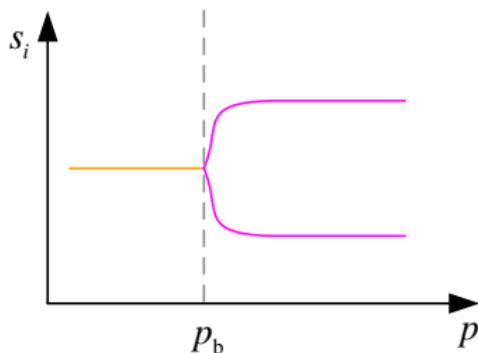
A.V. Makarenko, Analysis of the time structure of synchronization in multidimensional chaotic systems // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2015, Vol. 120, Issue 5, pp. 912-921.



A.V. Makarenko, Analysis of phase synchronization of chaotic oscillations in terms of symbolic CTQ-analysis // Technical Physics, 2016, Vol. 61, Issue 2, pp. 265-273.

Бифуркации д.с.

Концепция бифуркаций в динамических системах впервые была выдвинута А. Пуанкаре для описания «расщепления» равновесных решений в семействе обыкновенных дифференциальных уравнений.

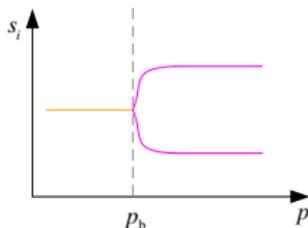


Бифуркации д.с.

Концепция бифуркаций в динамических системах впервые была выдвинута А. Пуанкаре для описания «расщепления» равновесных решений в семействе обыкновенных дифференциальных уравнений.

Второй этап исследования бифуркаций [А.А. Адронов и др.] заключался в основном в исследовании д.с. в аспекте изменения качественной структуры их орбит в результате малых возмущений системы, в связи с широким распространением прикладных задач для теории динамических систем и нелинейных колебаний.

Современная теория бифуркаций [В.И. Арнольд, Л.П. Шильников и др.] рассматривает не только бифуркации положений равновесия и предельных циклов, но перестройки системы в целом и, прежде всего, её инвариантных множеств, аттракторов.



Определение TQ-синхронизации

Сгруппируем последовательные итерации отображения:

$$\{s, f(s, p), f^2(s, p)\} \rightarrow \{f(s, p), f^2(s, p), f^3(s, p)\},$$

TQ-бифуркацию в отображении определим как изменение набора T- и Q-символов в области варьирования переменной состояния s , отвечающее условию:

$$\langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_{\mathbf{a}} \xrightarrow[\mathbf{p}=\mathbf{p}_b]{\text{TQ-bif}} \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_{\mathbf{b}}, \quad \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_{\mathbf{a}} \neq \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_{\mathbf{b}}, \quad \mathbf{p}_a \neq \mathbf{p}_b.$$

Theorem

TQ-бифуркации в дискретных отображениях подразделяются на три фундаментальных рода:

I – изменяется набор символов $T^{\alpha\varphi}$, набор символов $Q^{\alpha\varphi}$ – переходов между неизменными символами $T^{\alpha\varphi}$ остаётся неизменным.

II – набор символов $T^{\alpha\varphi}$ остаётся постоянным, но изменяется набор символов $Q^{\alpha\varphi}$.

III – изменяется как набор символов $T^{\alpha\varphi}$, так и набор символов $Q^{\alpha\varphi}$ – переходов между неизменными символами $T^{\alpha\varphi}$.

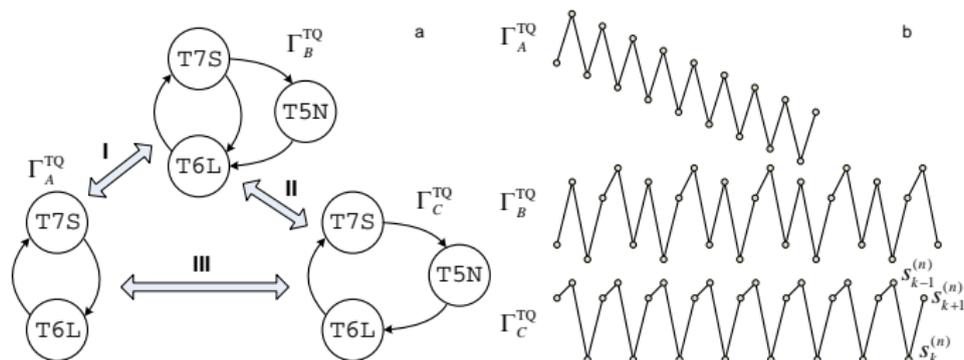
Определение TQ-синхронизации

Сгруппируем последовательные итерации отображения:

$$\{s, f(s, p), f^2(s, p)\} \rightarrow \{f(s, p), f^2(s, p), f^3(s, p)\},$$

TQ-бифуркацию в отображении определим как изменение набора T- и Q-символов в области варьирования переменной состояния s , отвечающее условию:

$$\langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_a^O \xrightarrow[p=p_b]{TQ\text{-bif}} \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_b^O, \quad \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_a^O \neq \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_b^O, \quad p_a \neq p_b.$$



Определение TQ-синхронизации

Сгруппируем последовательные итерации отображения:

$$\{s, f(s, p), f^2(s, p)\} \rightarrow \{f(s, p), f^2(s, p), f^3(s, p)\},$$

TQ-бифуркацию в отображении определим как изменение набора T- и Q-символов в области варьирования переменной состояния s , отвечающее условию:

$$\langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_a^O \xrightarrow[p=p_b]{\text{TQ-bif}} \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_b^O, \quad \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_a^O \neq \langle T^{\alpha\varphi}, Q^{\alpha\varphi} \rangle_b^O, \quad p_a \neq p_b.$$

Применение в нейросетевой области

- Анализ перестроений аттракторов динамических систем и/или формы траекторий процессов с целью формирования субоптимальных первичных информативных признаков.
- Исследование перестроений аттракторов рекуррентных слоёв с целью повышения качества функционирования и/или улучшения обучаемости сети.

TQ-синхронизация: Выводы

- TQ-бифуркации связаны с качественным изменением формы траекторий отображений в расширенном пространстве состояний.
- TQ-бифуркации позволяют исследовать ряд феноменов: синхронизация, самоорганизация, управление (подавление) хаосом.
- Метод применим для исследования многомерных решёток с произвольной топологией:
 - магнитные решётки – качественные свойства пространственного профиля намагниченности кристалла;
 - кристаллические решётки – динамика заряженных частиц высоких энергий в изогнутых кристаллах.
- Анализатор инвариантен к сдвигам и растяжениям фазовых траекторий.



A.V. Makarenko, The Study of Discrete Mappings in TQ-Space. Basic Principles. //Journal of Math. Sci., 2016, Vol. 219, Issue 2, pp. 190-203.
 //Journal of Math. Sci., 2016, Vol. 219, Issue 2, pp. 190-203.



A.V. Makarenko, TQ-bifurcations in discrete dynamical systems: Analysis of qualitative rearrangements of the oscillation mode // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2016, Vol. 123, Issue 4, pp. 666-676.

Самоорганизация д.с.

САМООРГАНИЗАЦИЯ - спонтанное, самопроизвольное возникновение упорядоченности (пространственных, временных, пространственно-временных или функциональных структур) в открытых (диссипативных) нелинейных, далеких от равновесия системах.

В процессе самоорганизации в сложных системах выделяется набор ведущих переменных (их называют параметрами порядка), которые подчиняют, определяют остальные характеристики объекта.

Макроэффекты (примеры):

- генерация лазерного излучения;
- формирование ячеек Рэля–Бенара;
- реакция Белоусова–Жаботинского;
- спонтанная полимеризация, фазовые переходы;
- образование спонтанной намагниченности ферромагнетиков.

Outline section

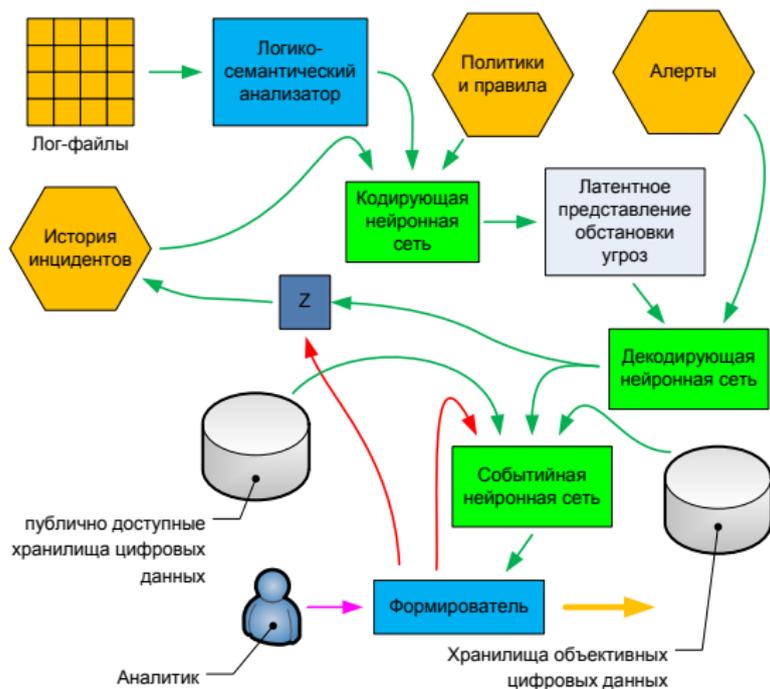
- 1 Кибернетика
 - Общие положения
 - Анализ и синтез систем управления
- 2 Нелинейная динамика
 - Общие положения
 - Основные феномены н.д.
- 3 Примеры прикладных работ
 - Система распознавания вторжений в «Облако»
 - Обнаружение подвижных подводных объектов
 - Защита магистрального трубопровода
- 4 Заключение

О задаче: Система распознавания вторжений в «Облако»



- Крупная вычислительная система;
- Предоставление «сырых» виртуальных машин;
- Обнаружение пассивных и активных атак;
- Выявление: доступа к информации / уничтожение системы;
- Внешние и внутренние атаки.

Контур обработки целевой информации



- Перекрестный анализ метаданных.
- Поведенческий мониторинг.
- Информация из внешних источников.

Результаты



- Выявление нетипичного поведения пользователей;
- Выявление нетипичной активности узлов системы;
- Обнаружение пассивных и активных атак;
- Предсказание цели и назначения атак.

О задаче: Обнаружение подвижных подводных объектов



Источник: <https://www.youtube.com/watch?v=QqFIZblQJlc>

- Разработка системы подводного видения;
- Задача обнаружение рыбы в водоёмах рыбных ферм;
- Сегментация и выделение контура объекта.

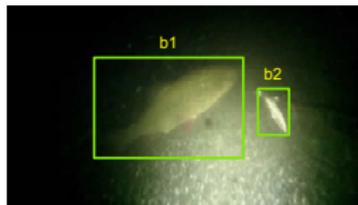
Решение и результаты

Простое обнаружение/классификация



Fish: True, Conf.: 0.9992

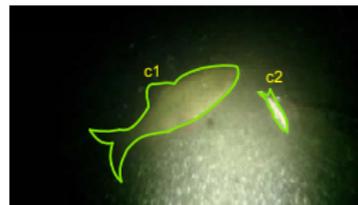
Детектирование



b1. Fish: True, Conf.: 0.9864, Pos.: 0.9452

b2. Fish: True, Conf.: 0.9137, Pos.: 0.8426

Сегментирование экземпляров



c1. Pos.: 0.8846, Compl.: 0.53

c2. Pos.: 0.7921, Compl.: 0.33

Примечания:

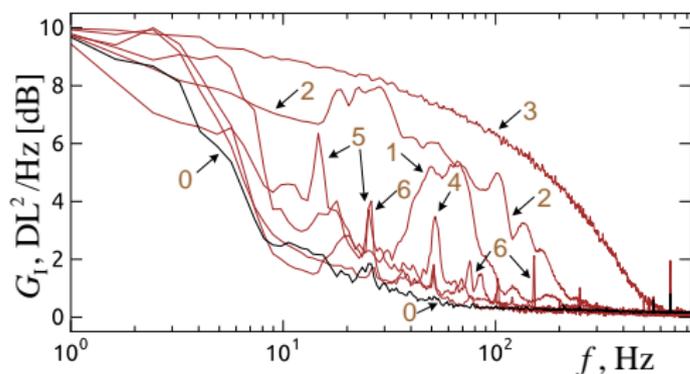
- Классификатор может строиться как одноклассовый, либо как многоклассовый.
- Сеть инвариантна к размеру входного изображения и размерам объектов.
- Затраты времени на обработку алгоритмов (GPU NVIDIA Geforce 1080): 12 мс, 27 мс, 194 мс.
- В случае решения задачи «Выделение контура» на выходе сети используется полиномиальный аппроксиматор полигонов.
- Решение интегрировано в серийное изделие для подсчёта рыб и управления лазерной системой биоочистки рыбы.

О задаче: Защита магистрального трубопровода

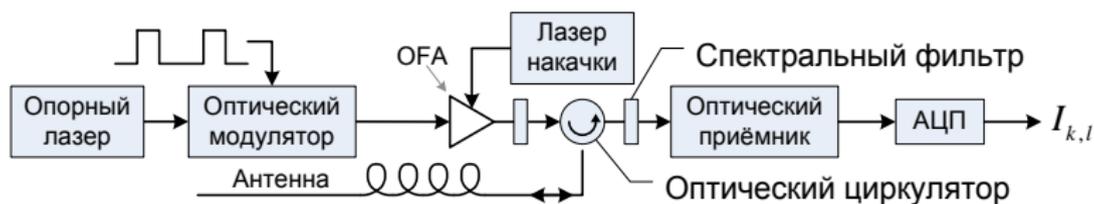


- 0 – Фон;
 - 1 – Утечка;
 - 2 – Лопата;
 - 3 – Экскаватор;
 - 4 – Сверление;
 - 5 – Сварка;
 - 6 – Шлифовка.
-
- Трубопроводы ПАО «Транснефть»;
 - Общая протяжённость МТ – свыше 60 тысяч км;
 - Обнаружение протечек;
 - Выявление хищений;
 - Антитеррористические мероприятия.

О задаче: Защита магистрального трубопровода

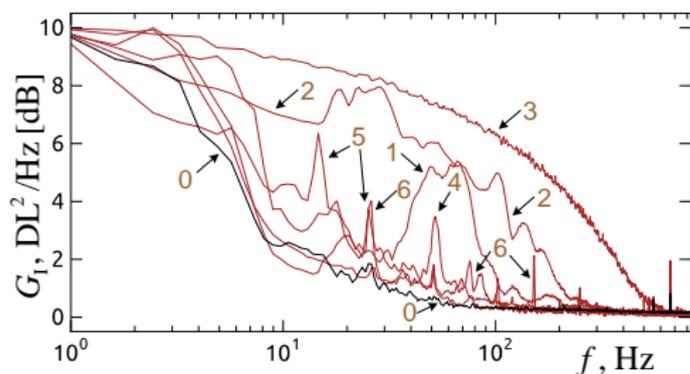


- 0 – Фон;
- 1 – Утечка;
- 2 – Лопата;
- 3 – Экскаватор;
- 4 – Сверление;
- 5 – Сварка;
- 6 – Шлифовка.

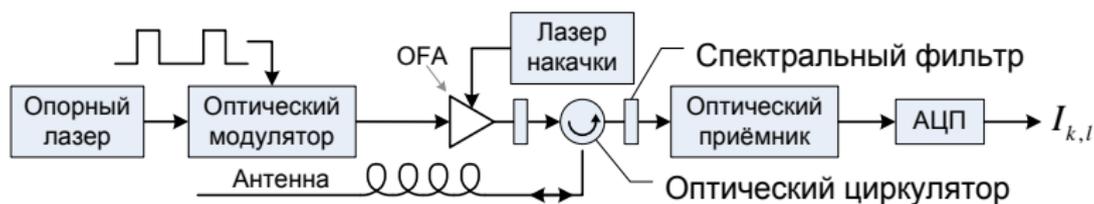


Когерентный волоконно-оптический рефлектометр, функционирующий на основе рассеивания Релея.

О задаче: Защита магистрального трубопровода

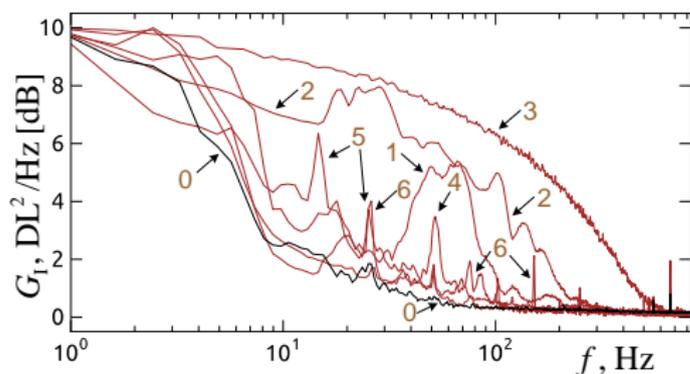


- 0 – Фон;
- 1 – Утечка;
- 2 – Лопата;
- 3 – Экскаватор;
- 4 – Сверление;
- 5 – Сварка;
- 6 – Шлифовка.

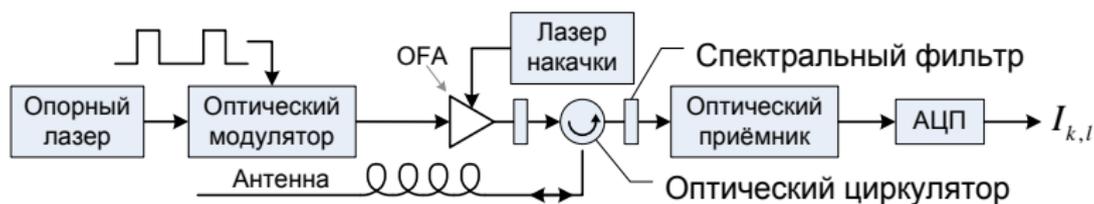


Когерентная рефлектограмма обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям на волокно (обнаруживаются «шевеления» от 70 нм).

О задаче: Защита магистрального трубопровода



- 0 – Фон;
- 1 – Утечка;
- 2 – Лопата;
- 3 – Экскаватор;
- 4 – Сверление;
- 5 – Сварка;
- 6 – Шлифовка.



Анализ время-частотных портретов сигналов позволяет регистрировать и распознавать события происходящие в зоне заложения ВОК.

О задаче: Защита магистрального трубопровода



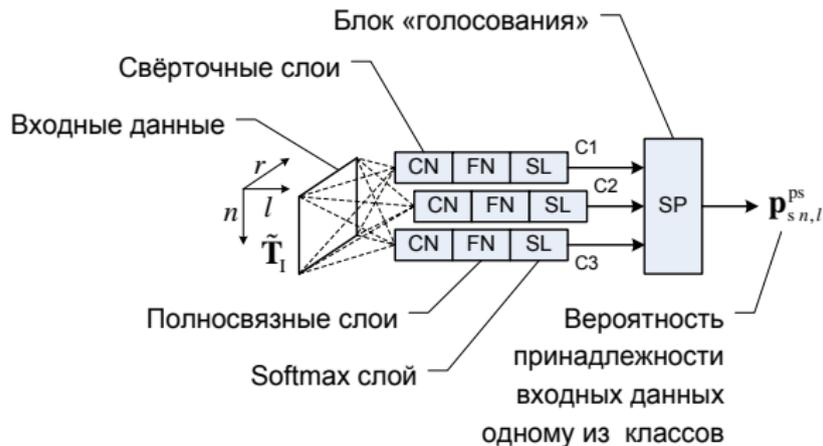
- 0 – Фон;
 - 1 – Утечка;
 - 2 – Лопата;
 - 3 – Экскаватор;
 - 4 – Сверление;
 - 5 – Сварка;
 - 6 – Шлифовка.
-
- 3 географически разнесённых трубопровода;
 - 14 месяцев активных экспериментов;
 - 56 помеховых подклассов;
 - 70 ТБ «сырых» данных.

Основные проблемы

- Паразитные модуляции рефлектограммы.
- Локальные участки временной нечувствительности сенсора.
- Существенное изменение отношения сигнал/шум по длине сенсора.
- Рефлектометр теряет информацию о направлении деформации волокна.
- Большое разнообразие и нестационарность сигнальных портретов.
- Интенсивные сигнало-подобные помехи.
- Существенная вариативность структурных характеристик сигналов.

Первичный классификатор сигналов

В классификаторе центральное место занимает глубокая нейронная сеть:



A.V. Makarenko, Deep Learning Algorithms for Signal Recognition in Long Perimeter Monitoring Distributed Fiber Optic Sensors. // The IEEE International Workshop MLSP 2016 / Proceedings – Vietri sul Mare, IIASS, 2016.

Результаты

Получено высокое качество обнаружения и распознавания полезных сигналов:

Таблица: Классификатор C1: матрица ошибок, тестовое множество.

Event class		Предсказания, %						
		0	1	2	3	4	5	6
Reference, 100%	0	91.80	3.96	0.64	0.14	2.34	0.42	0.70
	1	13.78	79.24	5.38	0.02	1.14	0.28	0.16
	2	4.24	3.34	91.30	0.14	0.66	0.00	0.32
	3	2.36	0.10	0.28	97.08	0.12	0.00	0.06
	4	8.68	0.38	0.22	0.00	89.80	0.28	0.64
	5	3.34	0.14	0.02	0.00	0.30	94.40	1.80
	6	3.42	0.12	0.14	0.00	0.70	0.82	94.80
Prec.		71.93	90.79	93.18	99.69	94.47	98.13	96.26
F1 sc.		80.66	84.62	92.23	98.37	92.07	96.23	95.53

- Предыдущие решения (по утечке) давали менее 45% правильно распознанных блоков данных;
- Система внедрена на реальном нефтепроводе и контролирует участок протяжённостью свыше 2 500 км;

Outline section

- 1 Кибернетика
 - Общие положения
 - Анализ и синтез систем управления
- 2 Нелинейная динамика
 - Общие положения
 - Основные феномены н.д.
- 3 Примеры прикладных работ
 - Система распознавания вторжений в «Облако»
 - Обнаружение подвижных подводных объектов
 - Защита магистрального трубопровода
- 4 Заключение

Контрольная работа

Задание для слушателей:

- 1 Изучить понятие бифуркационная диаграмма.
- 2 Исследовать отображение: $s_{k+1} = \lambda s_k^2 (1 - s_k^2)$.
- 3 Для отображения построить бифуркационную диаграмму.
- 4 Для отображения построить зависимость показателя Ляпунова от параметра λ .