



Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания

Почему Шалыто прав?

Н.Н.Непейвода, д.ф.-м.н., г.н.с.

ИПС им. А.К.Айламазяна РАН; Вятский государственный университет
(nnn@nnn.botik.ru)

24 января 2017 года, Зеленоград, НИИМЭ



Нейропрограммирование

- ❑ В настоящее время нейровычисления неоднократно доказали свою практическую полезность, в отличие от квантовых.
- ❑ Принципиальный их «недостаток» - отказ от парадигмы безошибочности, лежащей в основе традиционного программирования.
- ❑ Преимуществом нейровычислений является их естественный параллелизм и возможность автоподстройки под изменившиеся условия без переписывания программы.
- ❑ Это преимущество невозможно без «недостатка».
- ❑ Но оно частично нивелируется большими техническими трудностями программирования и большими затратами ресурсов на обучение программ.



Причины эффективности нейро

- Ещё с 70-х годов известно, что даже неразрешимые задачи порою становятся разрешимыми, если допустить некоторую маленькую вероятность ошибки.
- Тогда же было установлено: часто в случаях, когда строго доказано, что точный алгоритм имеет неприемлемую вычислительную сложность, часто можно приблизить простыми недетерминированными с любой, сколь угодно малой, вероятностью ошибки.
- Типична ситуация, когда 99% процентов случаев, встречающихся на практике, берутся простым алгоритмом, а при желании охватить все 100% мы сталкиваемся с неприемлемыми сложностями программирования и объёма ресурсов.
- Чисто формально нейросети могут моделировать любые вычислительные процессы, но этот результат аналогичен следующему: любую программу можно запрограммировать и исполнить на машине Тьюринга.

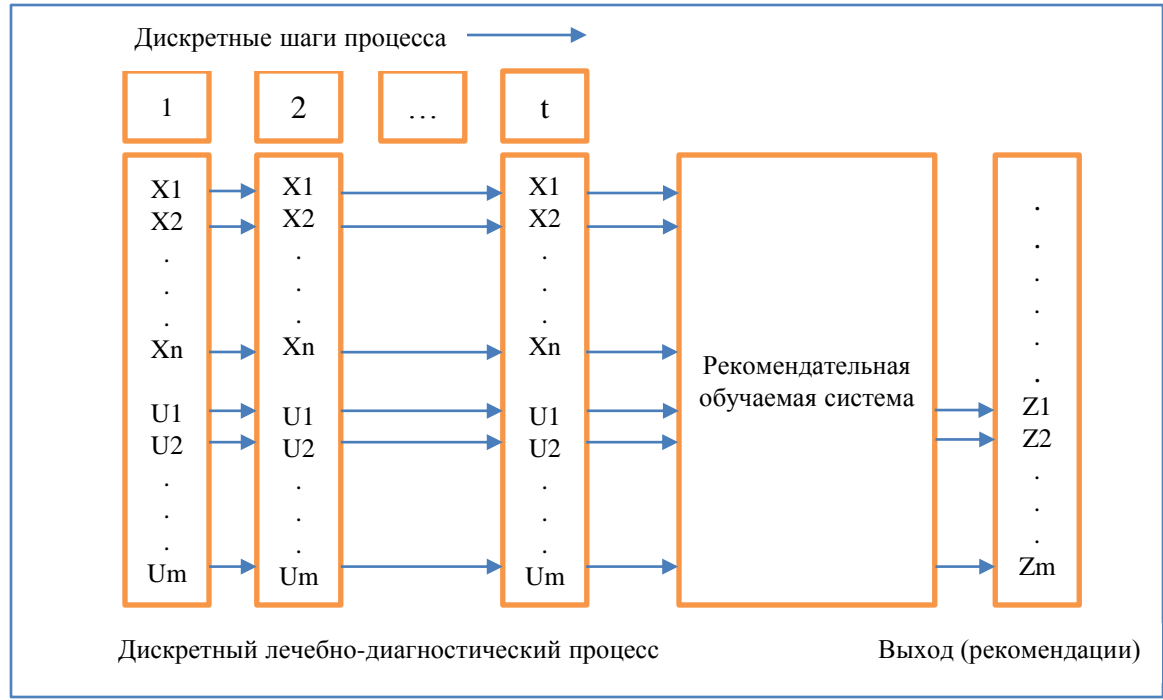


Что мешает нейрокомпьютингу

- ❑ Если нейросети эмулируются методами стандартного программирования, то эффективность решения падает порою экспоненциально.
- ❑ Если нейрокомпьютер реализован аппаратно, то сложность программирования растёт (видимо, тоже экспоненциально).
- ❑ Вообще говоря, стандартное аппаратное решение навязывает фиксированную структуру нейросети и частично теряется одно из главных преимуществ нейрокомпьютинга.
- ❑ Нейросеть в настоящее время требует традиционной управляющей системной программы.
- ❑ Рассмотрим пару примеров исследований эффективности нейросетей.



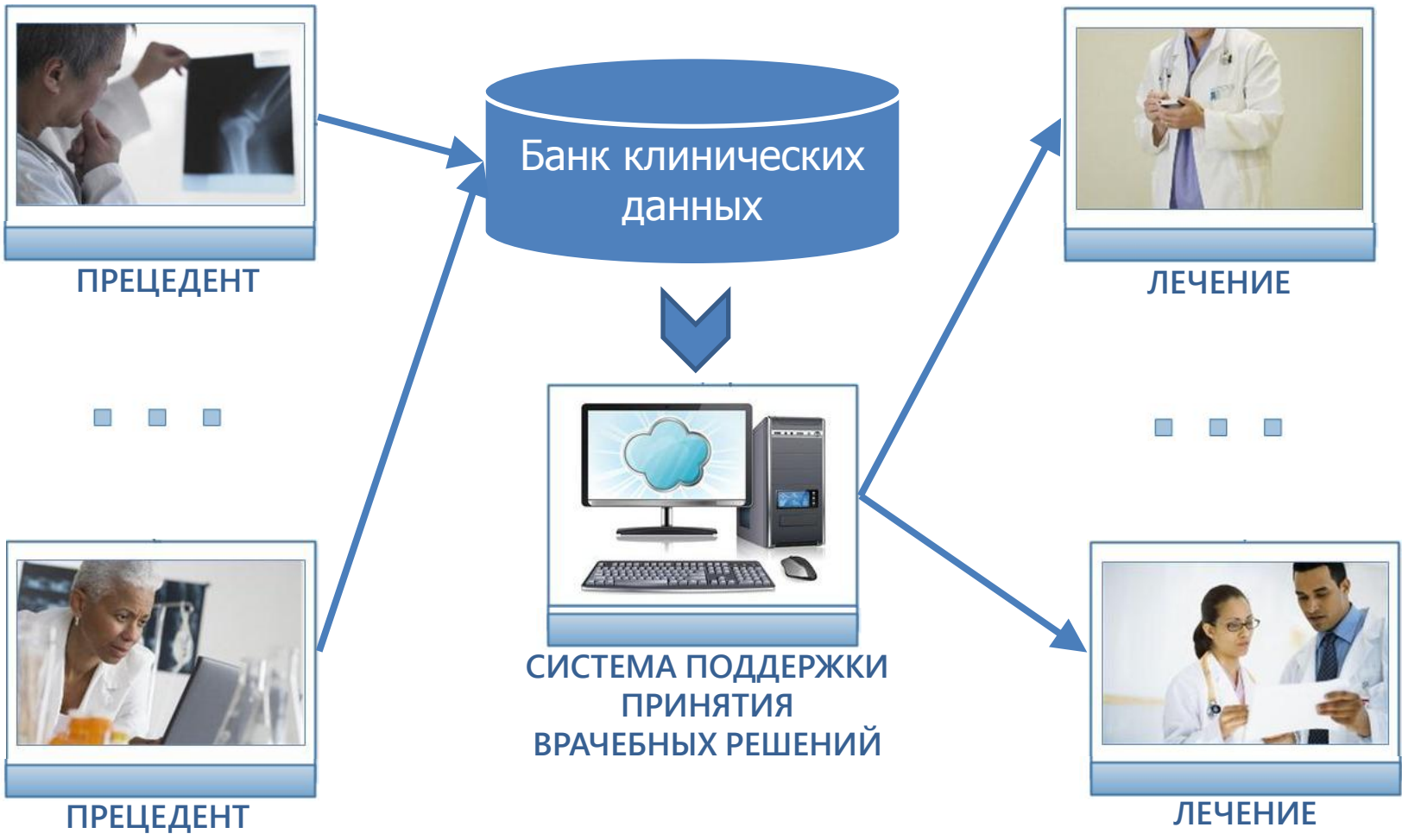
Постановка задачи



ЛДП представляется в виде последовательности векторов одинаковой размерности и структуры V , разлагаемых на две компоненты – управление U и наблюдаемые характеристики X .

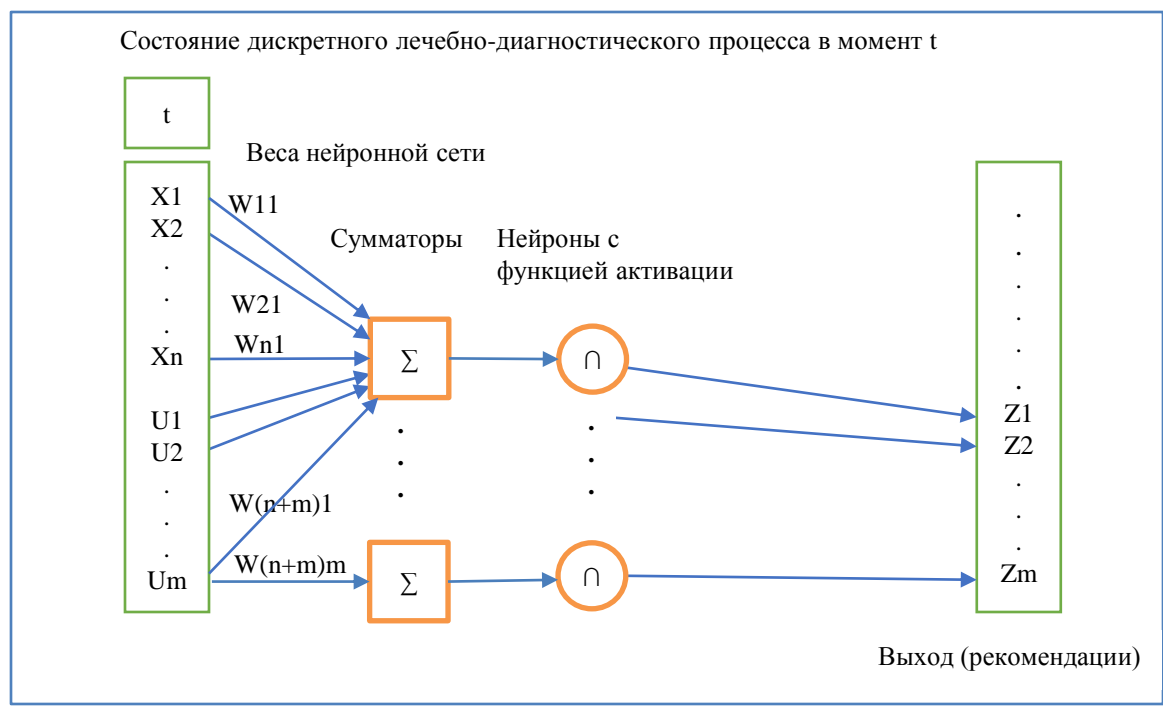


Прецедентный подход в СППР





СППР на основе простой НС



Каждый нейрон на выходе имеет одно из значений $\{0,1\}$. Выход 1 i -го нейрона означает, что система рекомендует в данном состоянии применить управление U_i . Выход 0 i -го нейрона говорит об отказе системы рекомендовать в данном состоянии применить управление U_i .



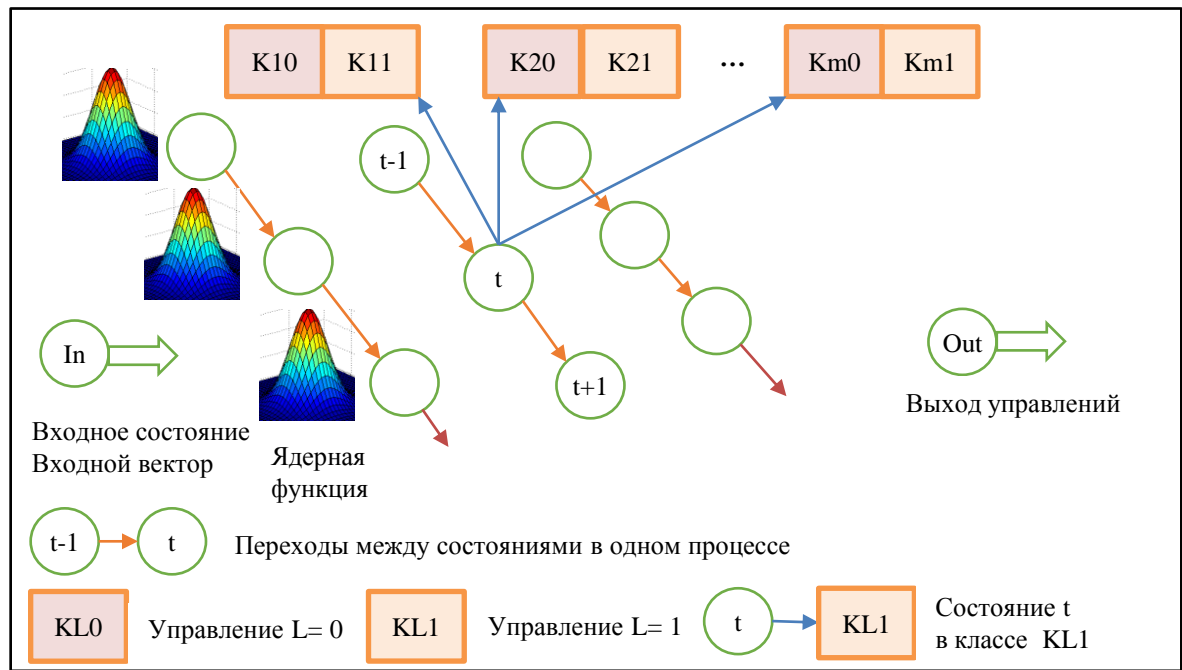
Оценка точности НС

В абсолютных значениях при порог активации нейрона 0,1			
T	35609	1017	FP
В процентах при порог активации нейрона 0,1			
T	98,15%	1,45%	F

Точность рекомендаций лечебно-диагностических мероприятий для нозологии J13 на основе нейронной сети с одним слоем для порога активации 0,1.



СППР на основе ВНС



С каждым состоянием (вектором состояния V) связана одна общая для всех состояний ядерная функция $f(V)$. Была использована многомерная функция распределения Гаусса с диагональной ковариационной матрицей. Ядерная функция имеет параметр σ , влияющий на ширину функции. Каждое состояние расклассифицировано по $2m$ классам, где m – размерность компоненты управления. Если в состоянии t врач применил управление L , то t принадлежит классу $KL1$, в противном случае t принадлежит классу $KL0$.



Оценка точности ВНС

В абсолютных значениях при σ 2,5			
T	35609	799	F
В процентах при σ 2,5			
T	98,31%	1,69%	F

Точность рекомендаций лечебно-диагностических мероприятий для нозологии J13 на основе вероятностной нейронной сети с параметром $\sigma = 2,5$.



Выводы по медицинской системе

- Нейронные сети обучались с высокой точностью давать рекомендации, 98% - 99%.
- Недостатком простейших нейронных сетей является их грубость и консервативность при усвоении ими отдельных, не значительных по отношению к уже имеющимся, порций новых данных.



Вычислительные характеристики СППР на основе ВНС

- ❑ Размерность вектора состояния 639.
- ❑ В качестве рекомендуемых управлений рассматривались все медикаментозные назначения. В данном примере это назначения различных 222 лекарственных средств.
- ❑ Количество ядер 4361.
- ❑ Сеть дала на контрольной выборке 36408 позитивных и негативных рекомендаций.

Любая вновь добавленная реализация ЛДП не может существенно переобучить сеть и повлиять на предлагаемое сетью решение. **Сеть является грубой!**



Апробация результатов исследований

- Medinfo 2015, The 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics São Paulo city, Brazil, from 19th to 23rd August, 2015. V.Malykh and Y.Guliev, Precedent approach to decision making in clinical processes.
- Malykh V.L. and Belyshev D.V. Case-based Reasoning in Clinical Processes Using Clinical Data Banks. Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON), Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok, 28-30 October 2015, pp. 211-216. IEEE Conference Publications.
- Vladimir L. Malykh, Igor N. Kononenko and Sergey V. Rudetskiy. Estimation of accuracy of recommended diagnostic and treatment actions based on precedent approach. // Proceedings of the International Conference e-Health 2016, Madeira, Portugal, July 1-4, 2016. pp. 52-58.
- Malykh V.L., Rudetskiy S.V. Approaches to medical decision-making based on big clinical data (Ailamazyan Program Systems Institute of RAS, Pereslavl-Zalessky, Yaroslavl Region, Russia). Manuscript has been successfully submitted to "Journal of Healthcare Engineering", 2017.

Результаты экспериментов с разными архитектурами нейронных сетей

Архитектура нейронной сети и параметры	Ожидаемые значения	Полученные значения
РБФ, spread = 10	22, 23, 24, 25	25
РБФ, spread = 100	22, 23, 24, 25	23, 25
РБФ, spread = 1000	22, 23, 24, 25	23, 25
РБФ, spread = 10000	22, 23, 24, 25	23, 25
РБФ, spread = 100000	22, 23, 24, 25	22, 23, 25, 79, 553
МСП, 3 слоя, 20 нейронов в скрытом слое	22, 23, 24, 25	22, 25, 79
МСП, 3 слоя, 80 нейронов в скрытом слое	22, 23, 24, 25	22, 24, 25, 79
МСП, 3 слоя, 100 нейронов в скрытом слое	22, 23, 24, 25	22, 24, 25
МСП, 4 слоя, [20 20] нейронов	22, 23, 24, 25	22, 24, 25
Адаптивная нейро-нечеткая система Сугено	22, 23, 24, 25	22, 24, 25, 79, 111, 282, 593
«Наивный Байес», распределение: полиномиальное	22, 23, 24, 25	22, 23, 24, 25, 37, 40, 71, 77, 94, 95, 160 162, 170, 225, 233, 235, 307, 315, 317, 353, 392, 393, 410, 420, 440
«Наивный Байес», распределение: kernel	22, 23, 24, 25	23, 25



Что мешает нейрокомпьютингу 2

- Видно, что изменение функций оценки требует перепрограммирования.
- Изменение структуры сети требует перепрограммирования
- Гибкость достигается сейчас в первую очередь «методами глубокого обучения», когда используются многослойные нейросети
- Нейросети без аппаратной поддержки оказываются «жёсткими»



Вывод 1

Аппаратная поддержка нейрокомпьютинга необходима. Это позволит эффективно использовать его преимущества для обработки больших данных.



Дальнейшие шаги

- Поскольку, в отличие от квантовых процессоров, нейропроцессоры имеют приемлемую цену, энергопотребление и используются в широком классе задач, необходима структура специализированного компьютера, в которой основным является именно нейропроцессор, а на долю традиционного процессора остаётся ввод-вывод.
- Такая аппаратная структура особенно подходит для суперкомпьютеров в области обработки больших данных или массовых задач с большой информационной сложностью исходных данных.
- Здесь возникает необходимость самостоятельной операционной системы нейропроцессора.
- Если её скопировать со структуры операционной системы обычного компьютера, то мы теряем основное преимущество нейрокомпьютинга – большую устойчивость к локальным ошибкам – либо же имеем задачу программирования исключительно высокой сложности (практически ручное исправление ошибок) и в результате малой надёжности и подверженную быстрой инфляции.



Одно из возможных решений

- ❑ Системный уровень нейропроцессора должен базироваться не на явном планировании процессов по образу фон неймановских вычислений, а на интеллектуальных агентах.
- ❑ В данном случае под системой интеллектуальных агентов понимается сеть недетерминированных взаимодействующих вероятностных автоматов.
- ❑ Н. Н. Непейвода, М. М. Хаткевич, А. А. Цветков. Рациональные агенты для случая управления сверхбольшими базами данных как взаимодействующие вероятностные автоматы // Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн. 2015.
- ❑ N. N. Nepejvoda, A. Tsvetkov, M. Frolova. Knowledge Structurization by Multi-agent Approach in a Non-formalizable Subject Area of Health and Medicine // Proceedings of the International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics. Ottawa, Ontario, Canada, May 15–16 2014. Paper No. 102. — Ottawa, 2014.



Теоретические проблемы

- Отсутствие адекватной теории вычислимости на нейросетях. Практически сейчас она набор результатов разрозненных экспериментов.
- Очень малое число экспериментов с нейросетью, модифицирующей другую нейросеть или интеллектуальными агентами, делающими то же.
 - ☆ В данном случае очень важно выработать критерии допустимых и легко реализуемых полуаппаратно перестроек структуры нейросети и замен функций оценок.
 - ☆ Представляется возможным здесь использовать идеи из аппарата теории управления стохастическими системами.
 - ☆ В частности, необходимы критерии устойчивости нейросети к ошибкам и, более того, аналог гиперустойчивости для динамических систем: способность восстанавливать качество функционирования после повреждений и сбоев.



Алгебраическое управление (возможности)

- Для формализации действий управляющей надсистемы нейросети лучше, чем численные модели, сработают алгебраические и полуалгебраические.
- В частности, система рациональных агентов может быть описана программными алгебрами (см. Н. Н. Непейвода, "Алгебраический подход к управлению", *Пробл. управл.*, 2013, № 6, 2–14). Тем самым программирование управляющей системы может быть сведено к построению алгебры путём стандартных алгебраических операций (прямая сумма, косое произведение) и специфических для программных алгебр (труба, зеркало).
- К несчастью, сами нейросети описываются программными алгебрами лишь в смысле «тезиса Тьюринга»: формальная полнота без полезных структурных свойств.



Вывод 2

Для полного использования преимуществ нейросистем нужно отойти от программирования их в традиционном стиле. Необходимо развивать теорию управления нейросетями и алгебраическую теорию их композиции и декомпозиции.



Недостатки в достоинства

- ❑ Ошибочность в обучаемость
- ❑ Неустойчивость результата аппаратуры в естественную случайность
- ❑ А как полностью описать нейросеть, в которой живые нейроны есть?



Вывод 3

Использование квантовых эффектов для создания эффективных недетерминированных нейрокомпьютеров может оказаться намного перспективнее т. н. «квантовых компьютеров».