

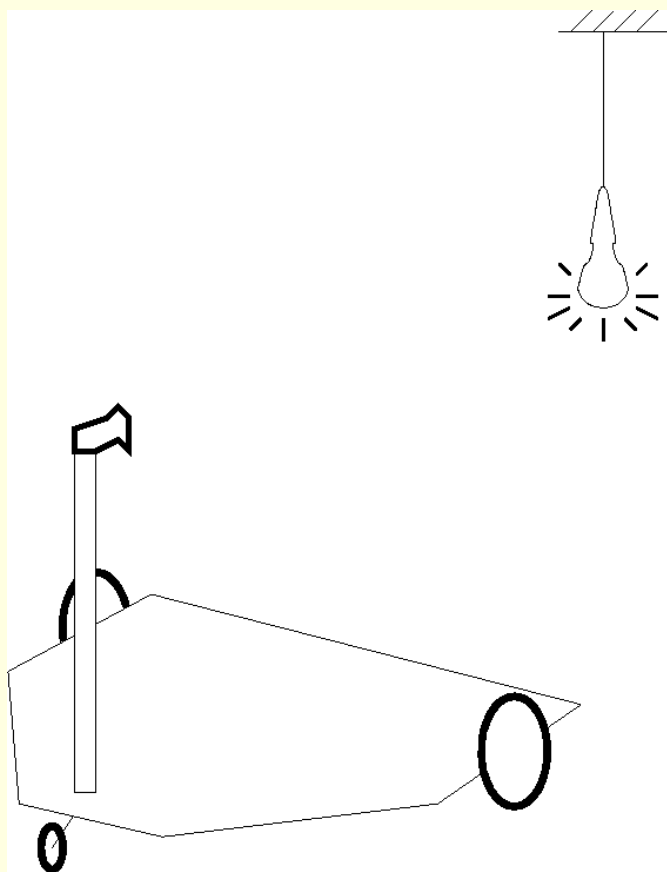
Метод нейросетевого оптимального управления

Елисеев В. Л., Зенкевич С.Л.

Содержание

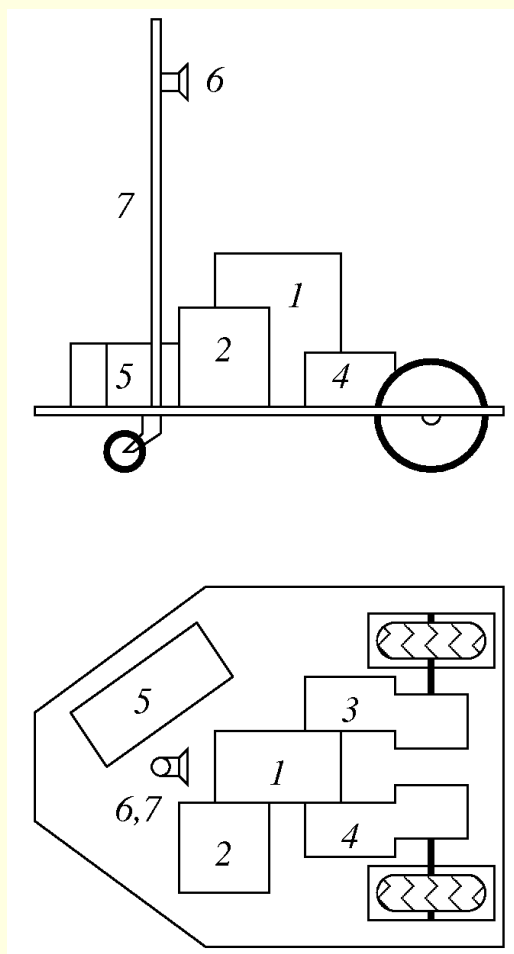
- Введение
 - Постановка задачи
 - Мобильный робот
 - Объект управления
- Методика синтеза нейросетевого оптимального регулятора
- Результаты экспериментов
- Заключение

Постановка задачи



- Движение мобильного робота на маяк.
- Видеокамера – единственный сенсор.
- Цель управления – точное «попадание» в маяк.
- Исходный регулятор – пропорциональный.
- Задача – повысить точность «попадания».

Мобильный робот



- Монохромная видеокамера 6 на штанге 7 для определения координаты маяка $y(k)$ в её поле зрения.
- Электроприводы двух ведущих колес 3,4 с дифференциальным управляющим сигналом $u(k)$.
- Автономный управляющий компьютер 1 на основе CPU i80486 с ОС QNX.
- Квазипостоянный шаг по времени 0.25 с.

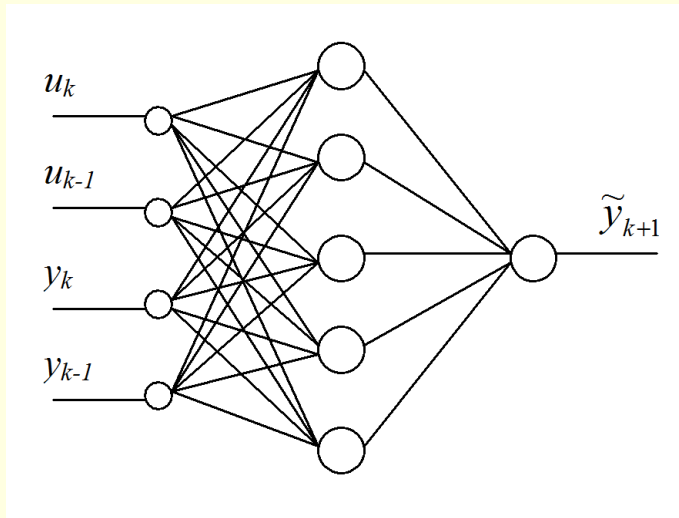
Объект управления

- Объект управления:
 - Вход – управляющий дифференциал $u(k)$ на приводы колес.
 - Выход – горизонтальная координата маяка в поле зрения видеокамеры $y(k)$.
- Расстояние до маяка неизвестно.
- Объект управления нелинейный.
- Структура и свойства объекта управления не анализировались.
- На систему управления воздействовали разнообразные помехи, как случайные, так и регулярные – качалась лампочка-маяк.

Методика синтеза нейросетевого оптимального регулятора

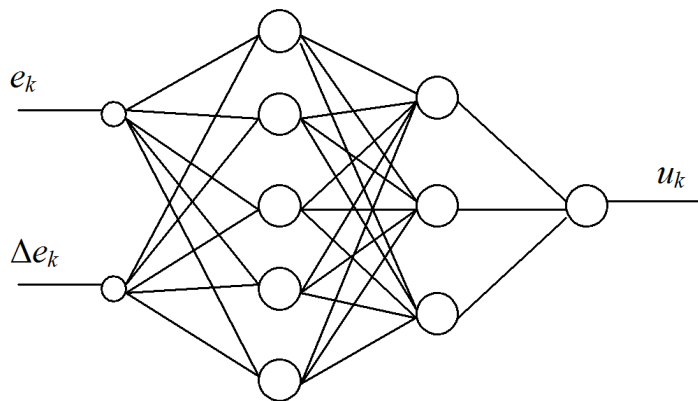
1. Выбор структуры нейросетевой модели объекта управления и нейросетевого регулятора.
2. Обучение нейросетевого регулятора функционированию подобно установленному на работе регулятору.
3. Обучение нейросетевой модели предсказанию координаты маяка в следующий момент времени.
4. Включение нейросетевого регулятора в контур управления с его дообучением по нейросетевой модели в процессе движения на маяк.
5. Выключение обучающего алгоритма и нейросетевой модели в момент, когда достигнута желаемая точность «попадания» в маяк.

Выбор структуры нейросетевой модели объекта управления



- Модель предсказания выхода объекта на один шаг вперед.
- Нейронная сеть прямого распространения.
- Не содержит обратных связей.
- Сигмоидальная функция активации нейронов скрытого слоя и линейная функция активации выходного нейрона.
- Динамические свойства реализованы с помощью повторения прошлых наблюдений.

Выбор структуры нейросетевого регулятора

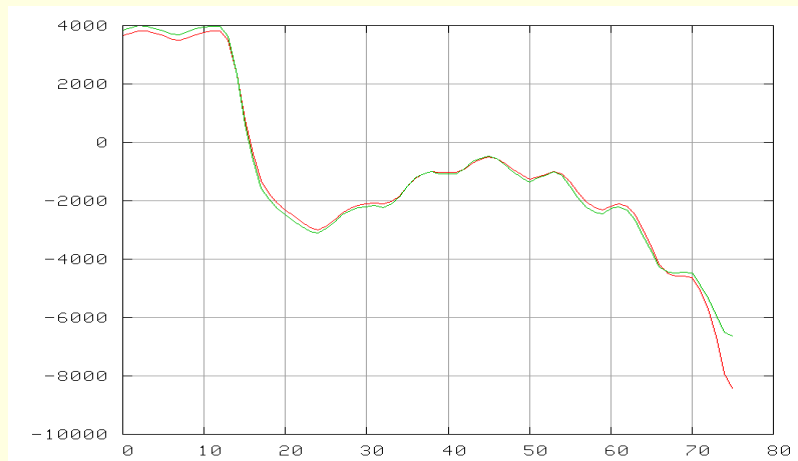


- Нейронная сеть прямого распространения.
- Не содержит обратных связей.
- Сигмоидальная функция активации нейронов скрытых слоев и линейная функция активации выходного нейрона.
- Динамические свойства реализованы подачей на вход нейронной сети ошибки управления и её первой разности.

Обучение нейросетевого регулятора подобно исходному

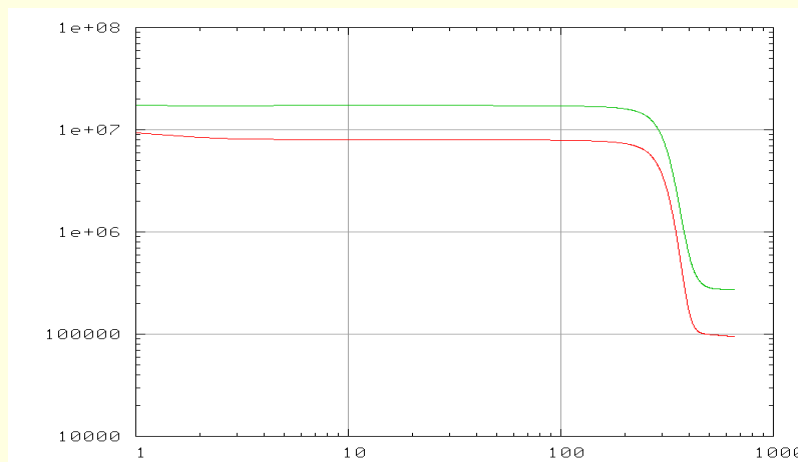
- Осуществляется вне контура управления.
- Обучение с учителем на основе наблюдаемых выборок $e(k)$, $\Delta e(k)$, $u(k)$.
- Метод обучения – обратное распространение ошибки с контролем прогресса по независимой выборке.
- Цель обучения – получить нейросетевой регулятор, который при установке в контур управления будет функционировать подобно исходному регулятору.

Обучение нейросетевого регулятора подобно исходному



- График сверху демонстрирует качество имитации исходного регулятора нейросетевым. Ось X – условное время. Ось Y – управляющее воздействие регулятора.

- — исходный регулятор
- — нейросетевая имитация



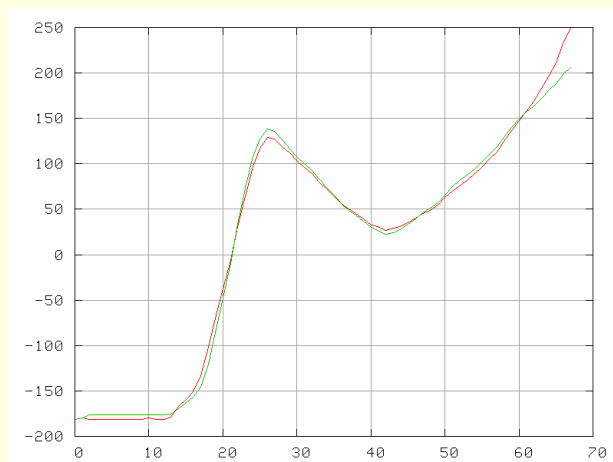
- График внизу – среднеквадратичная ошибка (ось Y) в процессе обучения нейронной сети регулятора (логарифмическая ось X).

- — обучающая выборка
- — контрольная выборка

Обучение нейросетевой модели

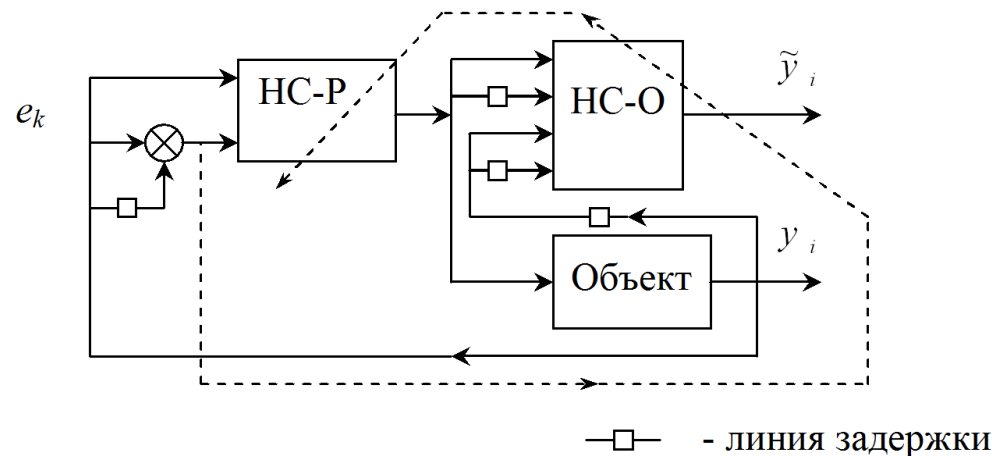
- Осуществляется вне контура управления.
- Обучение с учителем на основе наблюдаемых выборок $u(k)$, $u(k-1)$, $y(k)$, $y(k-1)$.
- Метод обучения – обратное распространение ошибки с контролем прогресса по независимой выборке.
- Цель обучения – получить нейросетевую модель, предсказывающую координату маяка на следующем шаге на основе управляющего воздействия и координаты маяка на текущем и на предыдущем шаге.

Обучение нейросетевой модели



- График сверху демонстрирует качество предсказания координаты маяка нейросетевой моделью на обучающей выборке.
- График внизу демонстрирует качество предсказания координаты маяка нейросетевой моделью на контрольной выборке.
- Ось X – условное время.
- Ось Y – координата маяка в поле зрения видеокамеры робота.
- — координата маяка
- — нейросетевое предсказание координаты маяка

Дообучение нейросетевого регулятора в контуре управления



- Начальным приближением является нейросетевая имитация П-регулятора.
- Ошибка управления распространяется в обратном направлении через модель объекта без коррекции весовых коэффициентов сети модели.
- Приведенная к выходу регулятора, ошибка управления задает мгновенное желаемое управляющее воздействие на объект для её минимизации.
- Веса нейросетевого регулятора подстраиваются не на каждом шаге, а в несколько раз реже для исключения влияния помех и для обеспечения устойчивости.

Дообучение нейросетевого регулятора в контуре управления

- Коррекция весового коэффициента нейронной сети:

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) - \eta \delta_i q_i$$

- Обобщенная ошибка для выходного слоя:

$$\delta_i = \varphi'(z_i^{out})(\tilde{y}_{k+1} - y_{k+1})$$

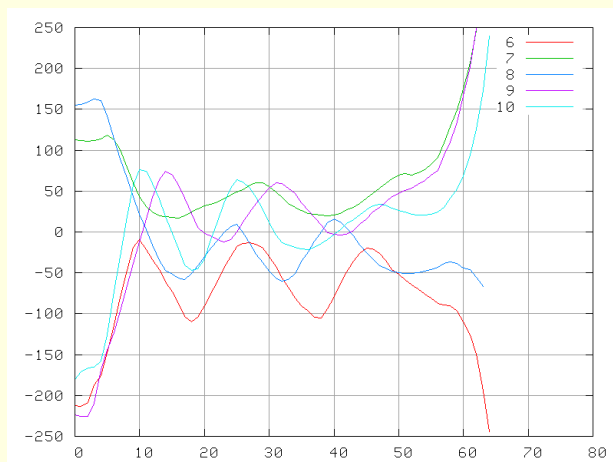
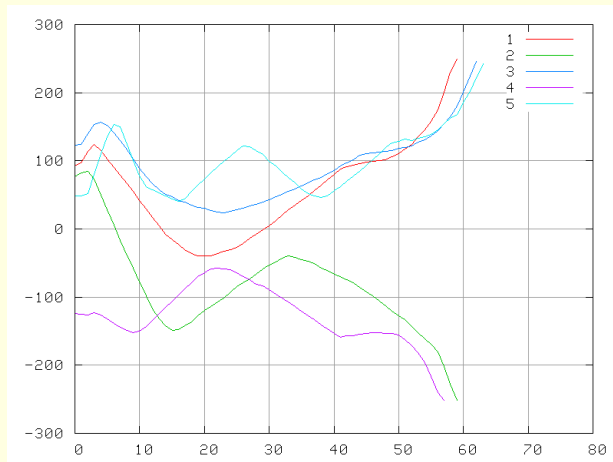
- Обобщенная ошибка для скрытого слоя:

$$\delta_i = \varphi'(z_i^{hid}) \sum_h \delta_h w_{hi}$$

- Обобщенная ошибка несет информацию о том, как надо изменить выход данного нейрона, чтобы результирующая ошибка на выходе всей сети уменьшилась.
- Приведенная ко входу модели (и одновременно, к выходу регулятора) обобщенная ошибка сообщает, как надо изменить управляющее воздействие, чтобы минимизировать ошибку управления:

$$\tilde{u}_k = u_k + \sum_h \delta_h w_{h1}$$

Дообучение нейросетевого регулятора в контуре управления

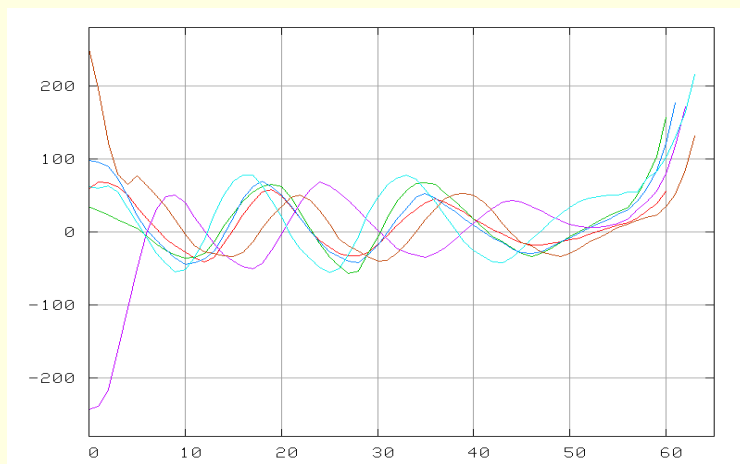
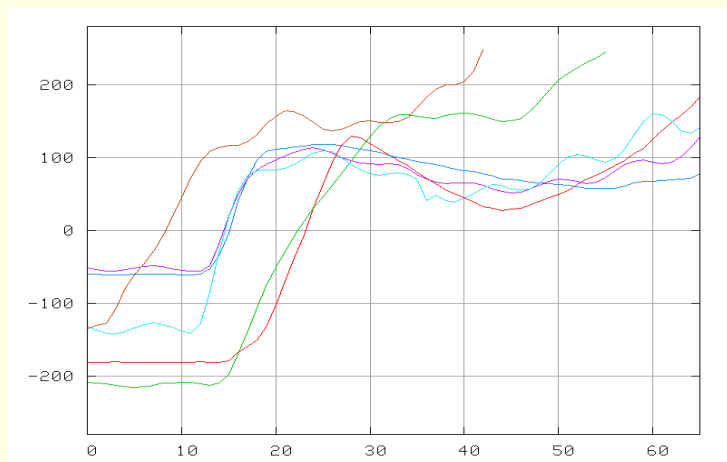


- Для дообучения нейросетевого регулятора в контуре управления было произведено 30 заездов мобильного робота.
- На графиках показаны траектории координат маяка в условном времени в первые 10 заездов.
- На графиках видно, как постепенно меняется характер управления.

Выключение обучающего алгоритма

- Обучение прекращается в соответствии с выбранным критерием.
- В настоящей работе таким критерием было достижение некоторого уровня среднеквадратичной ошибки управления на траектории.
- После завершения обучения нейросетевая модель становится не нужна и может быть отключена.
- Весовые коэффициенты нейросети регулятора остаются зафиксированными после завершения обучения.
- Простая структура нейросетевого оптимального регулятора предоставляет возможность эффективной реализации.
- Обучение регулятора можно в любой момент продолжить, подключив в контур ту же или более точную нейросетевую модель объекта управления.

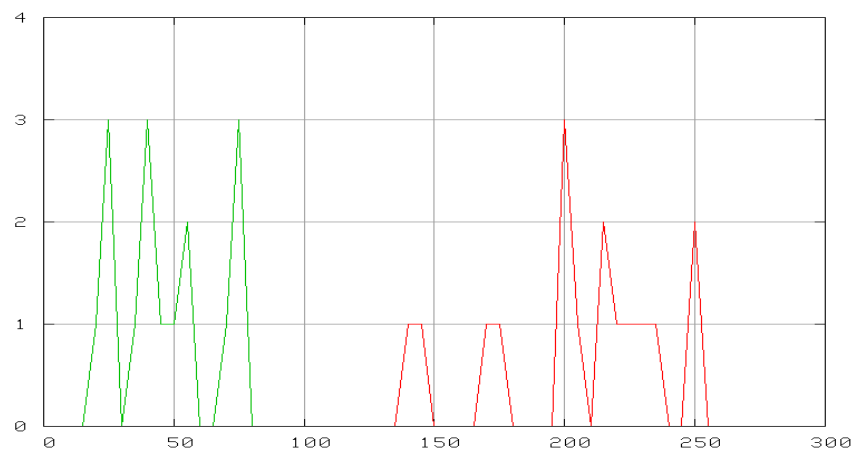
Результаты экспериментов



- Вверху – траектории координаты маяка в поле зрения видеокамеры с исходным П регулятором в контуре управления
- Внизу – траектории координаты маяка в поле зрения видеокамеры с полностью настроенным нейросетевым оптимальным регулятором в контуре управления

Результаты экспериментов

- Для сравнения качества функционирования были проведены две серии экспериментов по 16 заездов мобильного робота в каждой.
- Каждый заезд начинался на расстоянии 3 м от маяка.
- Результатом заезда считался численно зафиксированный промах.
- На верхней диаграмме зафиксированы промахи под управлением П-регулятора (▲) и под управлением нейросетевого оптимального регулятора (▲).
- Статистика промахов приведена в таблице.



	П-Р	НС-Р
Средний промах	206.6 мм	49.6 мм
Среднеквадратичное отклонение	33 мм	19 мм

Заключение

- С помощью предложенной методики построен нейросетевой оптимальный регулятор для управления движением мобильного робота на маяк.
- Проведены сравнительные эксперименты с исходным и синтезированным регуляторами.
- Продемонстрирована возможность нейросетевой идентификации и синтеза регулятора без априорных предположений о структуре и параметрах объекта управления.
- Предложенная методика эффективна при наличии разнообразных помех.