

Концепция связанных циклов и направления работы группы

— проведенные и проводимые работы, ----- - планируемые работы



Оптимальное управление – парадигма описания циклов

Цикл управления (гомеостаза)

Информационный цикл

Материально-энергетический цикл

Фильтр

Контроллер

Физический
(термодинамика)

Эко

Экономика,
система производство

Дуальное
управление
(активное
зондирование)

Информационный
уровневый
многоуровневый
распределенный
частичный

Сосредоточенный
распределенный
точечный

Энтропийные
критерии
оптимума

Загрязнение
– здоровье:
управление
риском

Цель – расчет потоков релевантной (смысловой) информации

Принцип фильтра Калмана

Динамика
системы

$$\frac{dx}{dt} = f(x, \theta_d) + w$$

Состояние
динамики
Параметры
динамики
Шум
(ДЗ)

$$y(t) = h(x, \theta_s) + v$$

Наблюдение
наблюдения
Параметры
наблюдения
Шум

Динамика
фильтра

$$\frac{d\chi}{dt} = K \cdot (y - y^\wedge(\chi))$$

Оценка
состояния

Ожидаемое
наблюдение

Коэффициент
фильтрации

$K_x = P H^T V^{-1}$

$\chi = x$ или θ

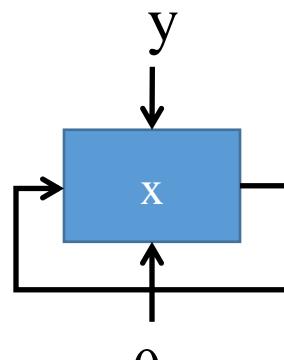
Динамика
ошибки

$$\frac{dP}{dt} = F P + P F^T + W - P H^T V^{-1} H P, \quad F = Df/Dx, \quad H = Dh/Dx$$

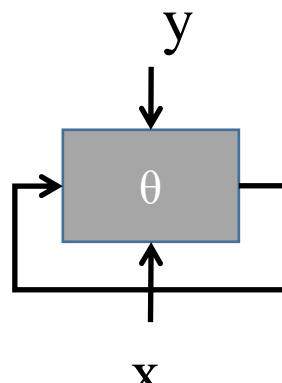
Ошибка
 $\langle (x - \chi)^2 \rangle$

Ковариационные матрицы шумов

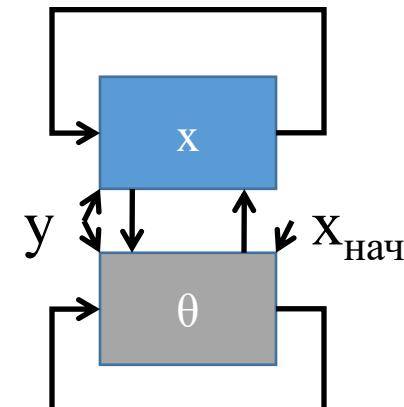
Линеаризация



Простой фильтр
состояния



Простой фильтр
параметров



Многоуровневый
фильтр

χ может быть оценкой
 x^\wedge для x и/или оценкой
 θ^\wedge для θ (параметров
модели динамики,
наблюдения)

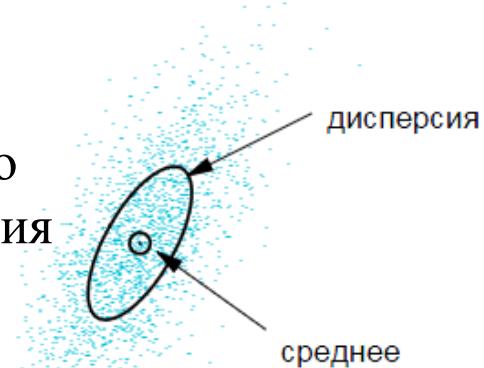
Многочастичный фильтр Калмана

Исходные данные

Линейный фильтр

Фильтр частиц

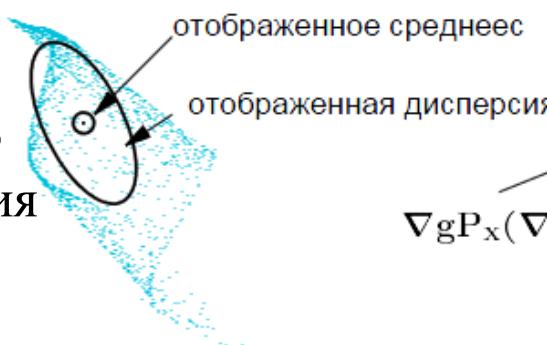
До
нелинейного
преобразования



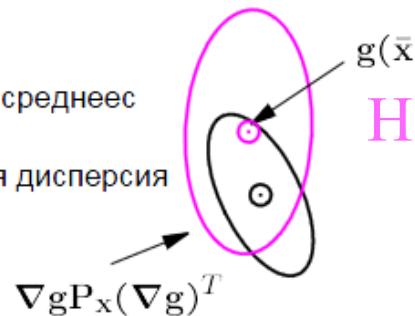
Нелинейная
модель
(например,
 $LAI \rightarrow KСЯ$)

$$y_i = g(x_i)$$

После
нелинейного
преобразования

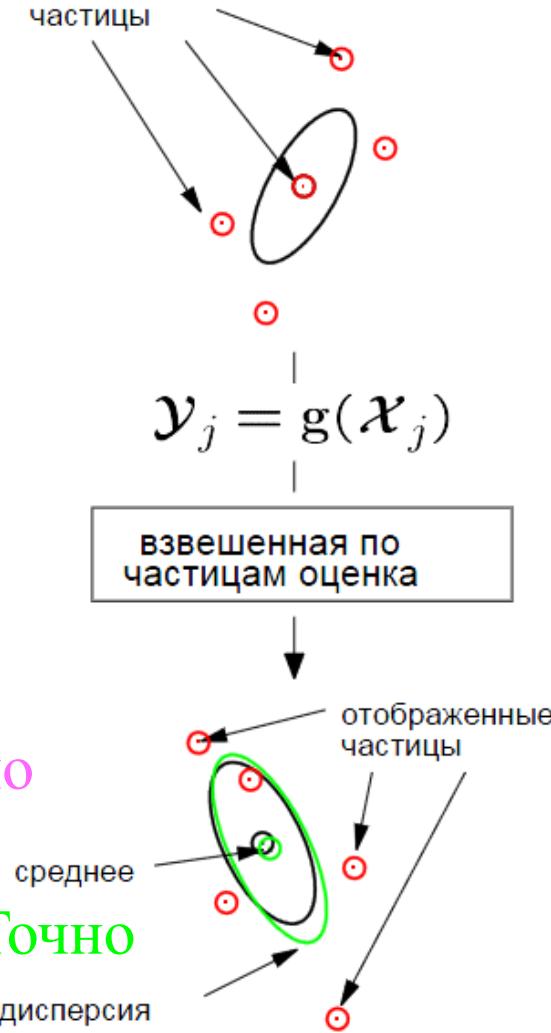


$$\bar{y} = g(\bar{x})$$
$$P_y = \nabla g P_x (\nabla g)^T$$



Неточно

Точно



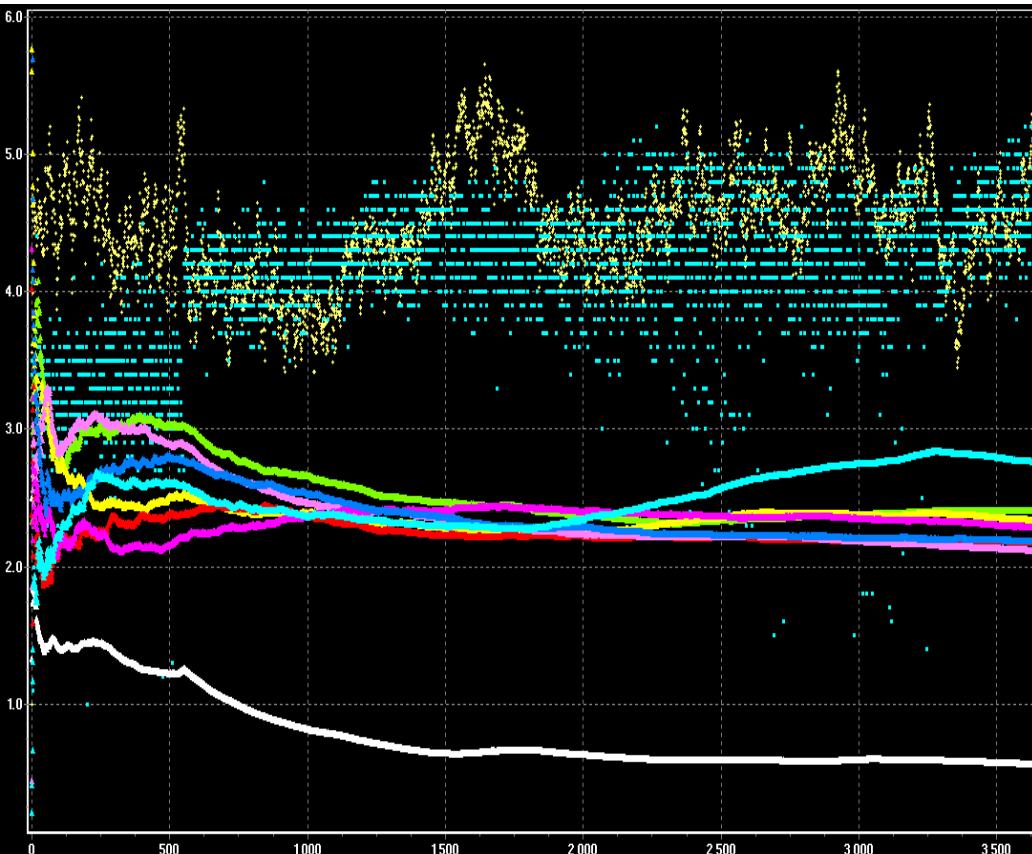
Вывод: многочастичный фильтр лучше в нелинейных моделях

Применение многочастичного фильтра Калмана

Обучение коэффициентам нелинейной модели РСА по ГС-оценкам LAI.

(Все диапазоны, все поляризации→21 коэффициент).

Фильтр Калмана движется не по времени, а по пространству



ГС-оценки LAI и оценки по данным РСА. Гладкие цветные линии - невязки предсказания и наблюдения по всем использованным комбинациям «поляризация – диапазон» (Дб). Главная – белая линия: средняя невязка оценок LAI по ГС и РСА. Она сходится к удовлетворительному значению (~0.5).

Эти результаты получены после обучения 21 коэффициенту модели РСА по ГС-оценкам LAI.

При привлечении всего материала наблюдений РСА получено согласие оценок LAI по ГС и РСА. Коэффициенты обученной модели сходятся и имеют физически осмысленные значения.

Информационный фильтр Калмана



Информация:

$I_x = P^{-1}$	$i_x = P^{-1}x^\wedge$	$\Delta I_x = H^T V^{-1} H$	$\Delta i_x = H^T V^{-1} y$
переменные	Мера накопленной информации	Накопленная информация	Мера информационного потока
			текущий вклад в информацию

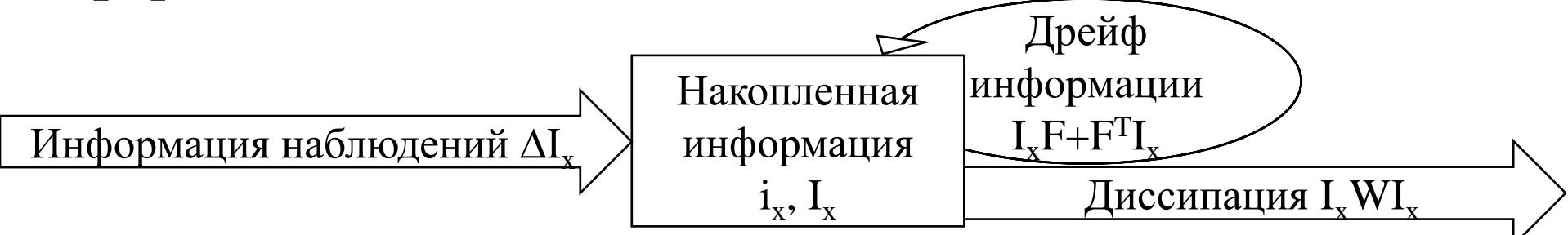
Динамика фильтра

$$\frac{di_x}{dt} = g(i_x, I_x) + K \cdot (y - y^\wedge(i_x))$$

или $i_x^{k+1} = i_x^k + \Delta i_x$

Оценка состояния $K = H^T V^{-1}$ Ожидаемое наблюдение

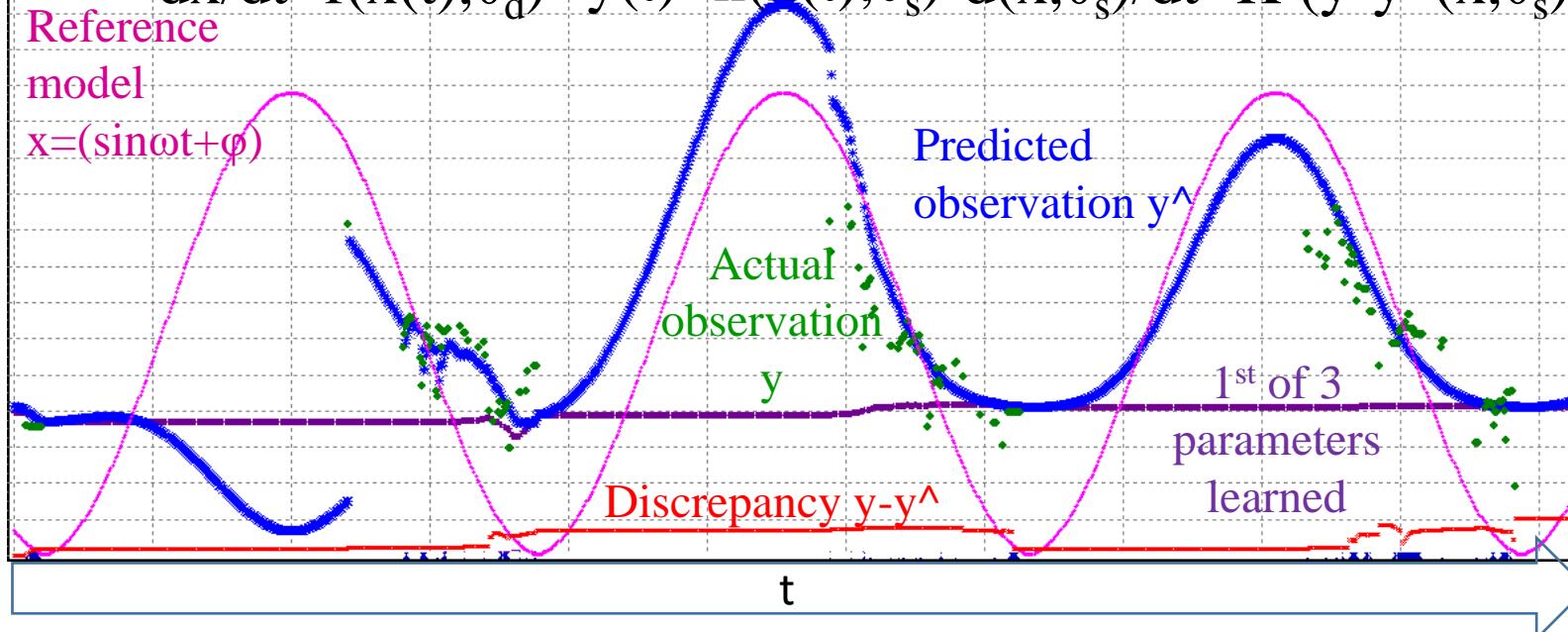
Динамика информации

$$\frac{dI_x}{dt} = \Delta I_x - I_x F - F^T I_x - I_x W I_x, \quad F = Df/Dx$$


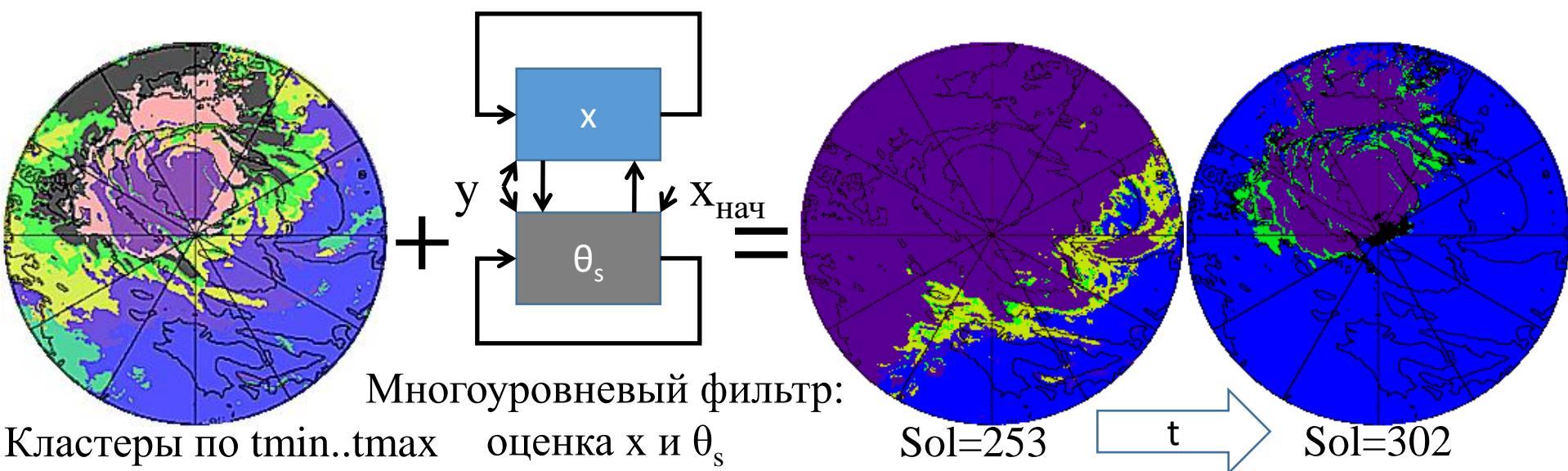
Интерполяция динамики областей (кластеров) ЮПШ Марса

Информационный фильтр Калмана заполняет пробелы гиперспектральных наблюдений

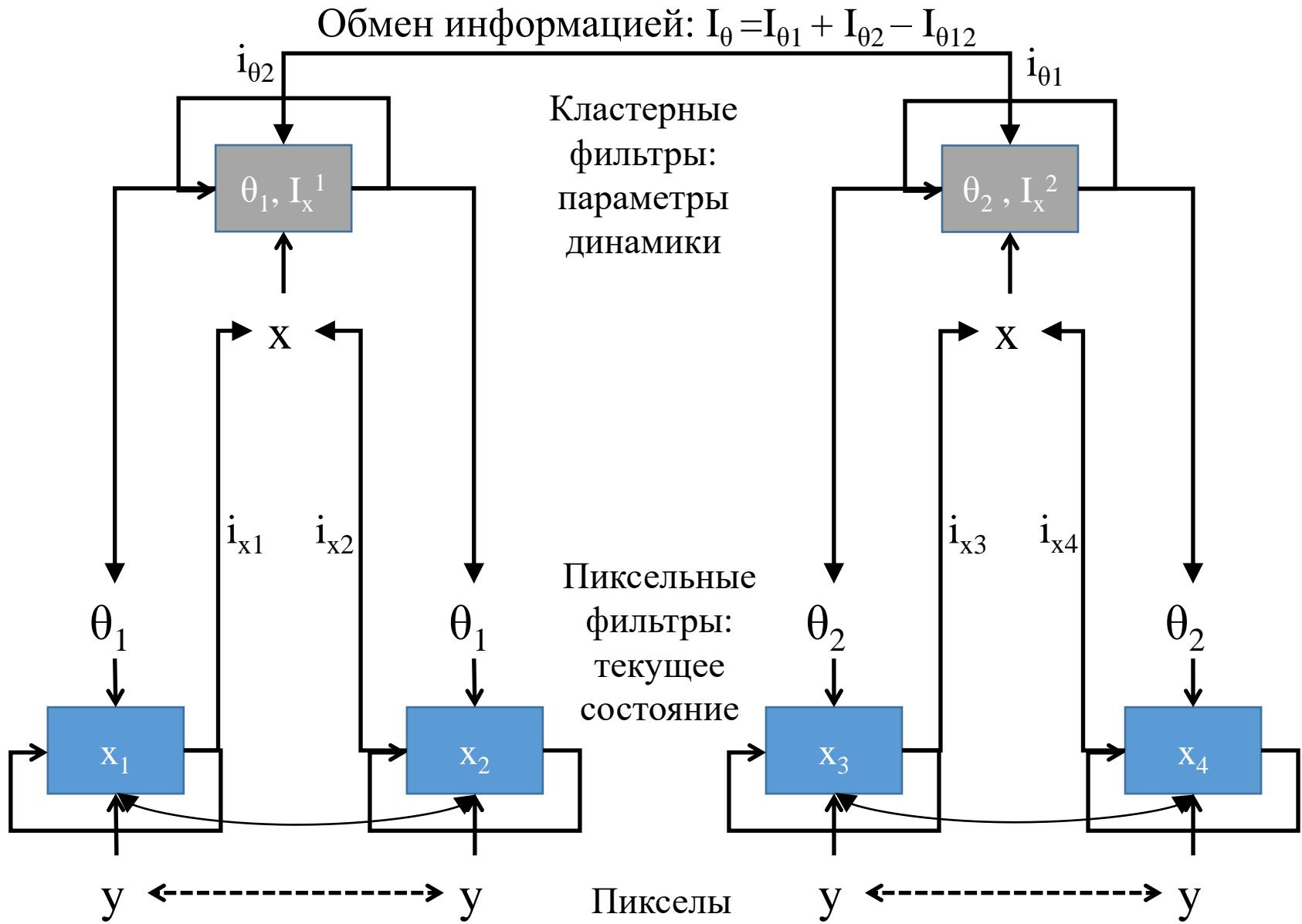
$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), \theta_d) \quad y(t) = h(x(t), \theta_s) \quad \frac{d(x, \theta_s)}{dt} = K \cdot (y - y^\wedge(x, \theta_s))$$



Kalman learns mapping of reference model x (periodic) to line depth y averaged over one of SOM regions.



Распределенный фильтр Калмана

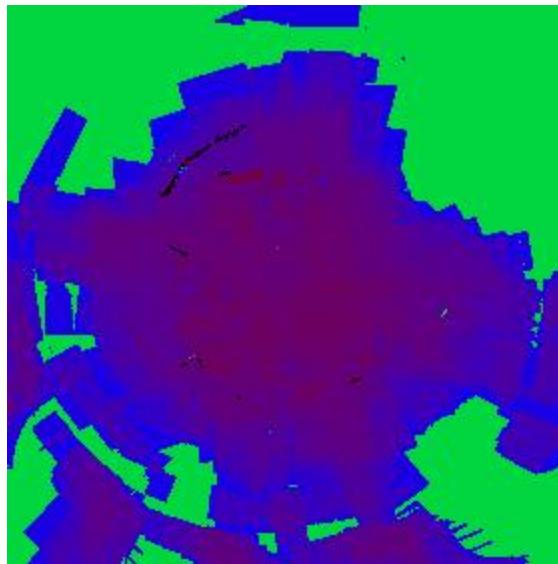


Распределенный фильтр Калмана: оценки информативности «Омеги»

Итоговая информация, содержащаяся в обученных параметрах связи «Омега→LGCM»

Позволяет определить, где гиперспектральные данные «Омеги» существенно уточняют LGCM

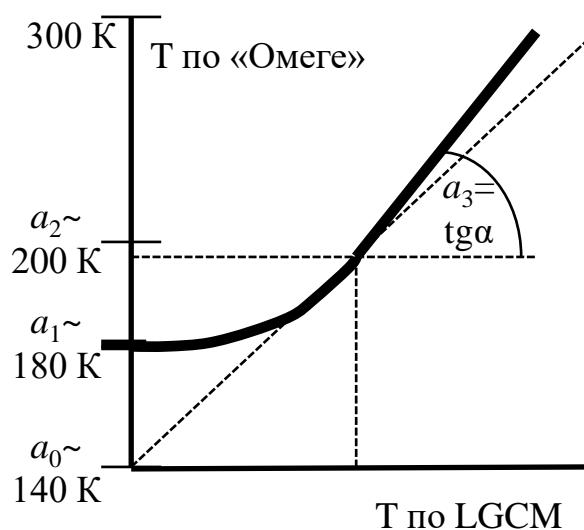
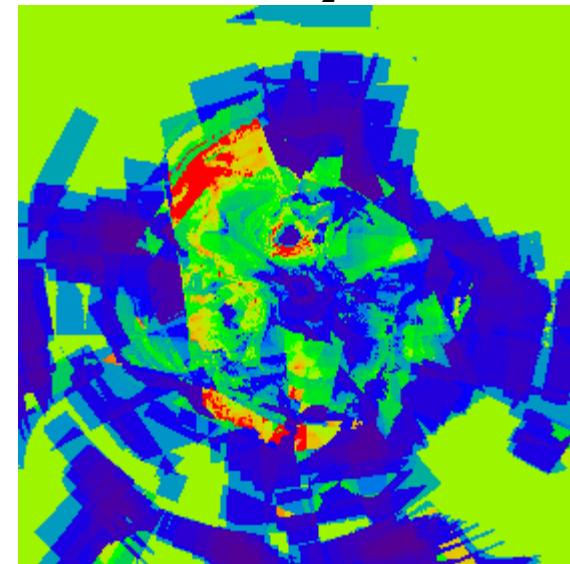
a_0



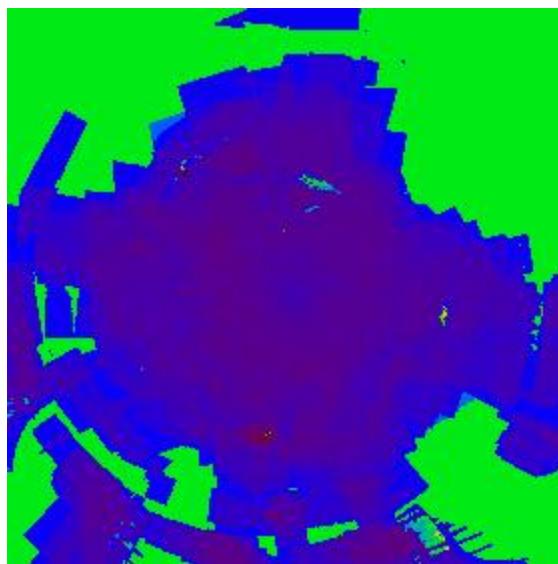
Отдельный фильтр Калмана в каждом пикселе (распределенный фильтр).

Связь между фильтрами – через параметры пространственных кластеров

a_2

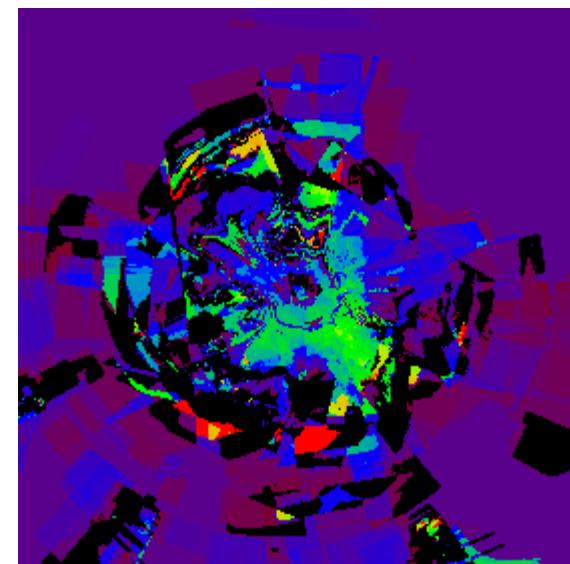


a_1



Вывод:
обученные параметры a_2 и a_3 в целом по ЮПШ более информативны, чем параметры a_0 и a_1 .

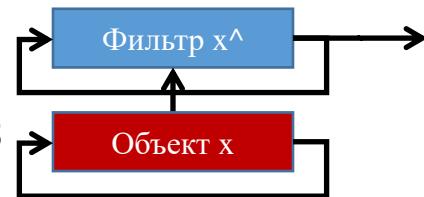
a_3



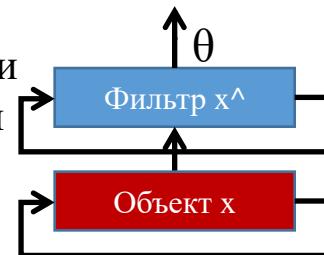
Варианты управления: разомкнутый цикл, «предписанная» ОС, адаптивный цикл

Фильтр
сам по
себе

Сглаживание
динамики
наблюдений ДЗ

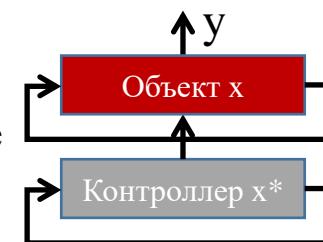


Обучение параметрам модели
динамики и/или параметрам
используемой в имитаторе
модели процесса ДЗ

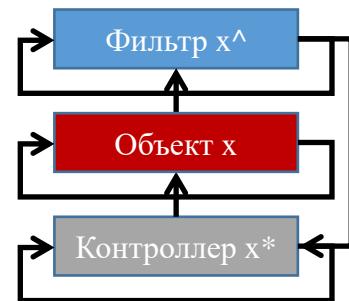


Контроллер
сам по себе

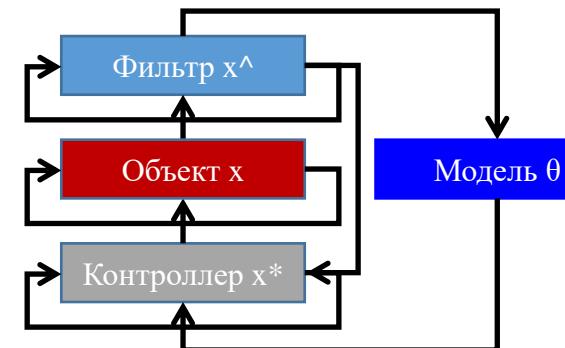
Разомкнутый цикл управления: воздействие на
геосистему по модели ее динамики и наблюдение
результатов, но без их учета в управлении



Контроллер и
фильтр



Замкнутый цикл, но с фиксированной
программой управления: невязка наблюдений и
ожидаемого результата приводит к коррекции
управления по заранее фиксированному правилу

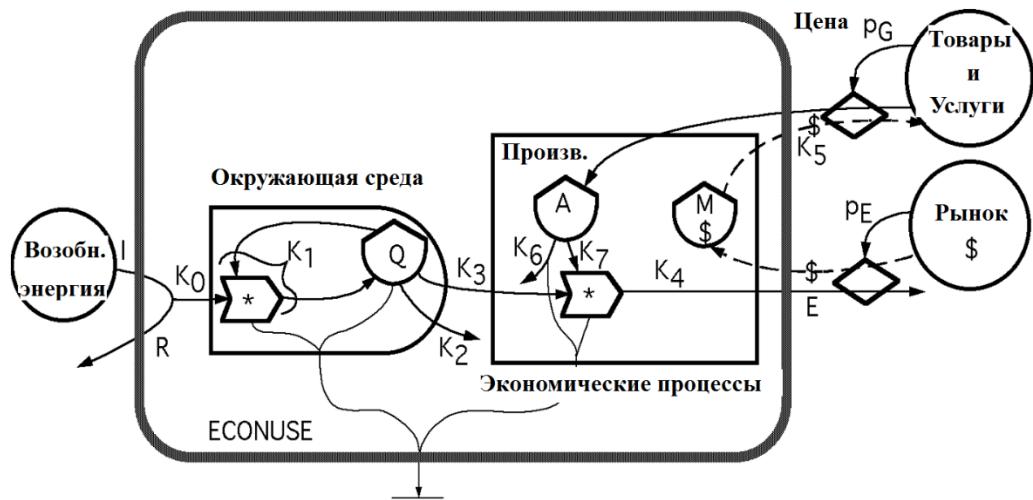


Адаптивное управление (в т.ч.
дуальное): параметры модели
корректируются по мере накопления
информации от наблюдений

**Главная задача: описать все эти варианты как системы потоков
информации, с соблюдением законов сохранения**

Энергетические схемы Одума: материя-энергия-информация

	Энергетический канал: поток пропорционален энергии в источнике или в накопителе, откуда исходит канал.
	Источник: задает фиксированную силу или поток.
	Накопитель: хранилище энергии, накапливаемой из разности входящих и исходящих потоков; задает переменную состояния.
	Сток тепла: безвозвратная потеря энергии за счет превращения в тепло. Все другие элементы соединены со стоками.
	Взаимодействие: пересечение взаимодействующих энергетических каналов, выдающее выходной поток как функцию потоков входящих каналов. Обычно один поток управляет другим.
	Потребитель: преобразование качества энергии, включающее накопление и внутреннюю автокаталитическую обратную связь со своим входом.
	Переключатель: переключение значений одного потока под воздействием другого.
	Производство: преобразование потока энергии низкого качества в более высокое качество под управлением другого потока еще более высокого качества.
	Ограничитель: ограничение выхода при превышении порога входом. Обеспечивается внутренней обратной связью.
	Общий символ: Любой элемент или функция.
	Усилитель: выход равен произведению входа на постоянный фактор, задаваемый другим входом.
	Трансакция: обмен носителя энергии (продукта или услуг, сплошная линия) на деньги (пунктирная линия). Цена указана как внешний источник.



Упрощенная схема «природа – производство – экономика»

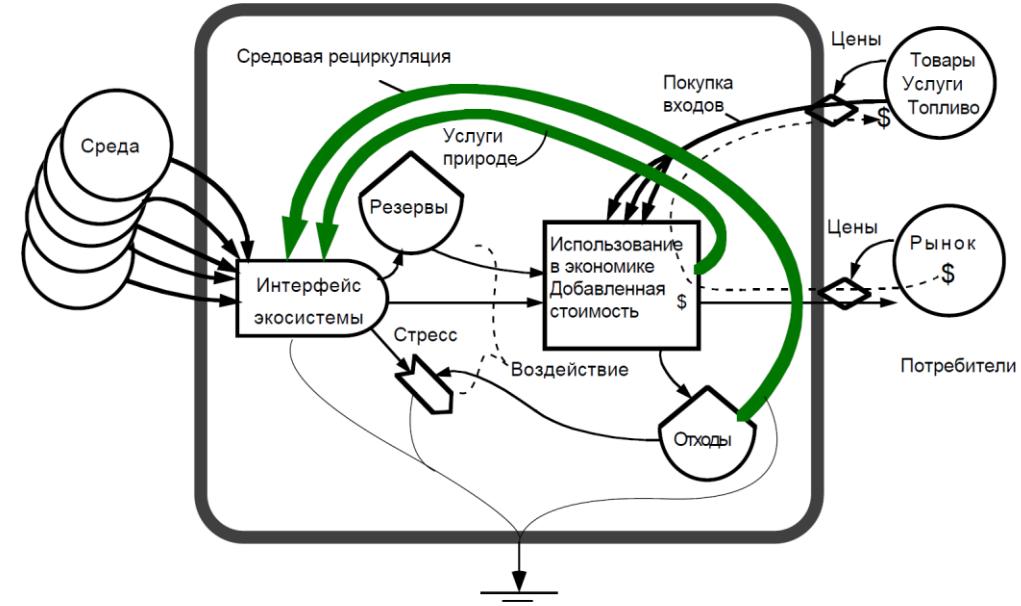
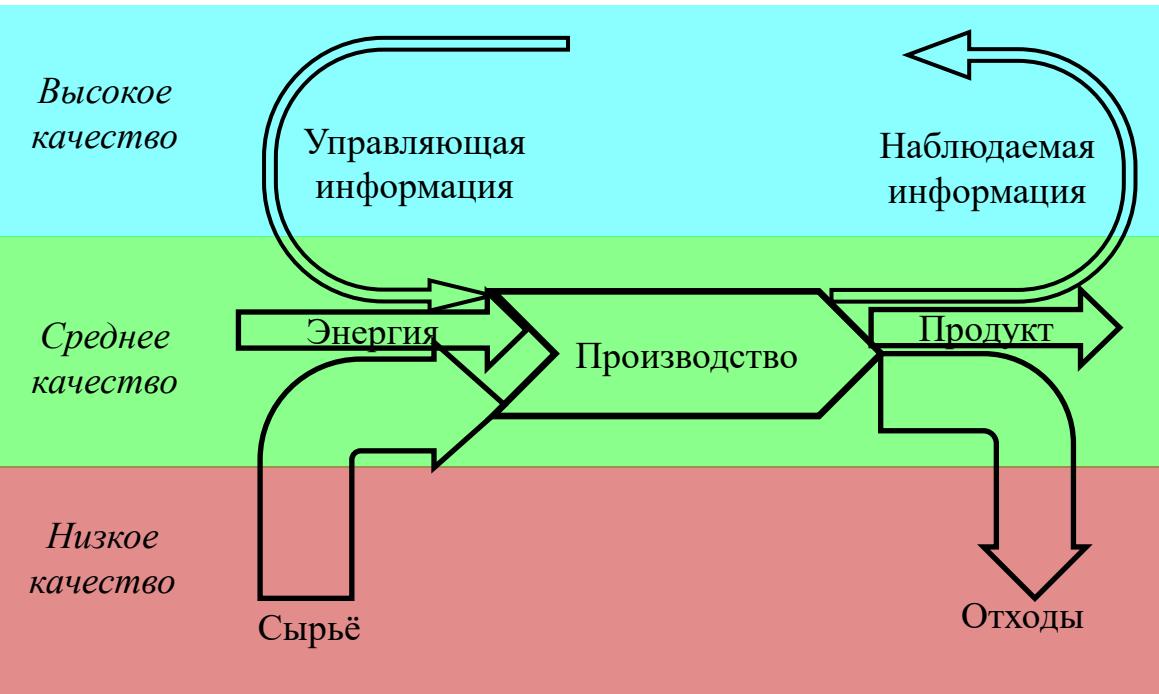


Схема с материально-энергетическим циклом загрязнения

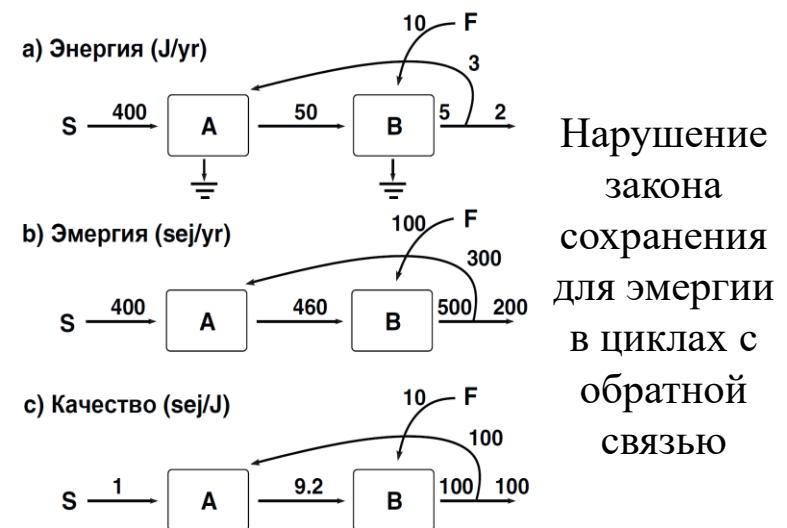
Уровни качества энергии и сохранение энергии и информации



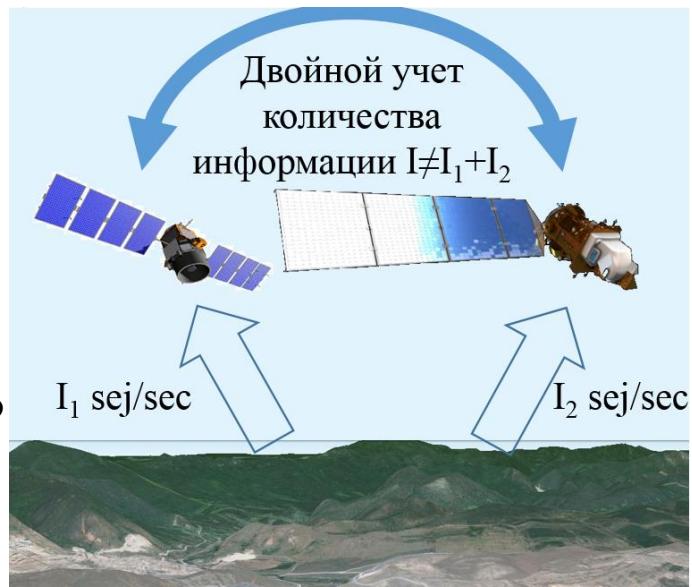
Базовый элемент преобразования качества энергии



Лестница качества информации



Восстановление
закона
сохранения для
информации
методами
теории
распределенного
оптимального
управления



Энергетическая схема многоуровневого фильтра-контроллера Калмана

Система: x -состояние, θ -параметр

Динамика: $dx/dt = f(x, u, \theta_d)$

Наблюдение: $y(t) = h(x, \theta_s)$

Фильтр: x^\wedge -оценка

$$dx^\wedge/dt = f(x^\wedge, u, \theta_d) + K_x \cdot (y - y^\wedge(x^\wedge))$$

Контроллер: x^* -желаемое

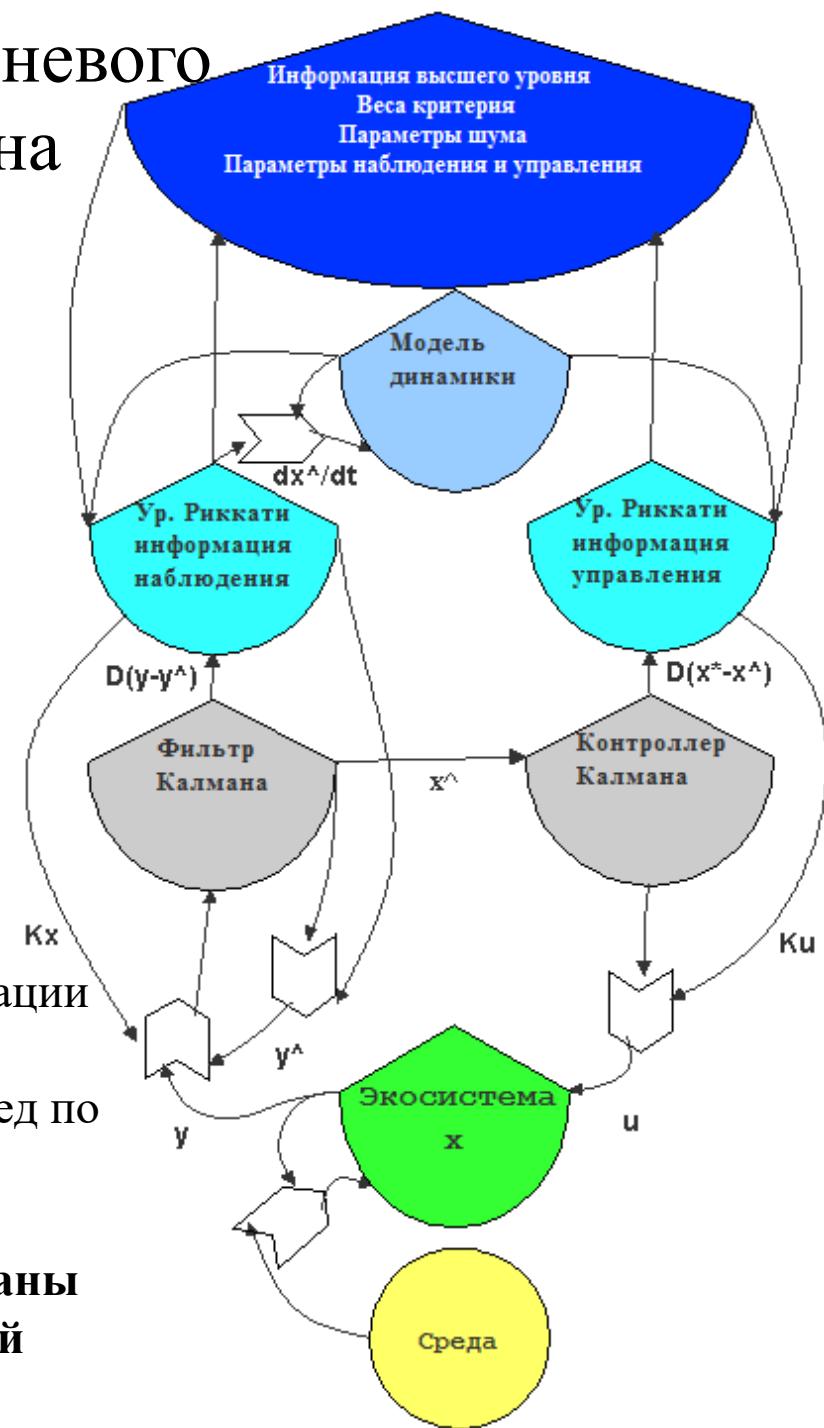
$$u(t) = K_u \cdot (x^\wedge - x^*)$$

Критерий оптимизации

$$J = \int [(x - x^*)Q(x - x^*)^T + uR u^T] dt$$

Коэффициенты фильтрации K_x и управления K_u определяются балансом динамики прихода информации с наблюдениями и ухода с шумами и расходом на управление. Динамика информации фильтра – вперед по времени, информации контроллера – назад.

Эти информационные потоки могут быть записаны как баланс энергии. Источники информационной энергии – экосистема и начальные данные.



Информационные потоки в «Геодиалоге»



Распределенная система наблюдения/управления

