

Концепция связанных циклов и направления работ 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,
производство

Дуальное
управление
(активное
зондирование)

Информа
ционный

Много
уровневый

Распреде
ленный

Много
частичный

Сосредо
точенный

Распреде
ленный

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

Параметры

Шум

динамики

динамики

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

Наблюдение

Параметры

Шум

(ДЗ)

наблюдения

наблюдения

Динамика
фильтра

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

Оценка
состояния

Ожидаемое
наблюдение

Коэффициент
фильтрации

$$K_{\chi} = P H^T V^{-1} \quad \chi = x \text{ или } \theta$$

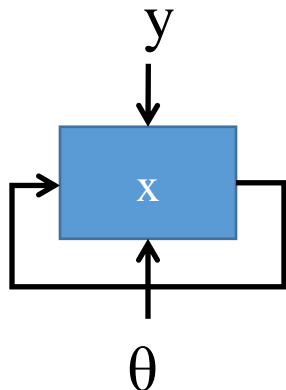
Динамика
ошибки

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

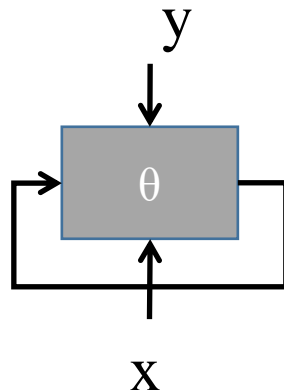
Ошибка
 $\langle (x - \chi)^2 \rangle$

Ковариационные матрицы шумов

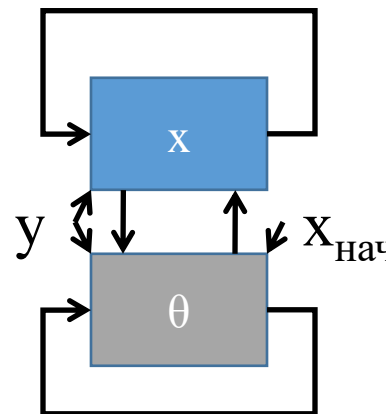
Линеаризация



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)

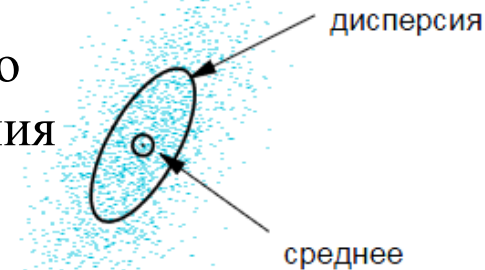
Многочастичный фильтр Калмана

Исходные данные

Линейный фильтр

Фильтр частиц

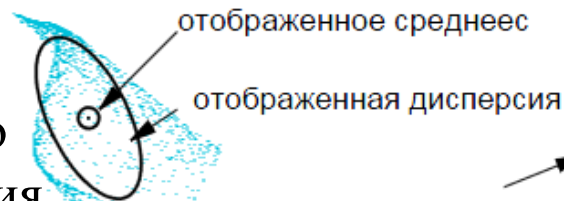
До
нелинейного
преобразования



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

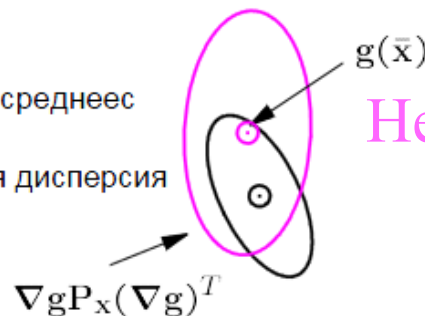
$$y_i = g(x_i)$$

После
нелинейного
преобразования

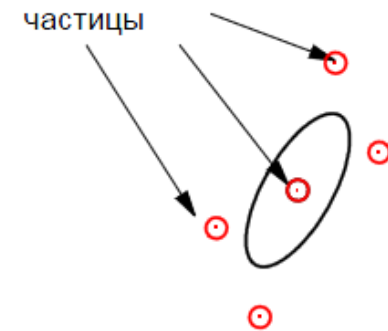


$$\bar{y} = g(\bar{x})$$

$$P_y = \nabla g P_x (\nabla g)^T$$



Неточно



$$y_j = g(x_j)$$

взвешенная по
частицам оценка



Точно

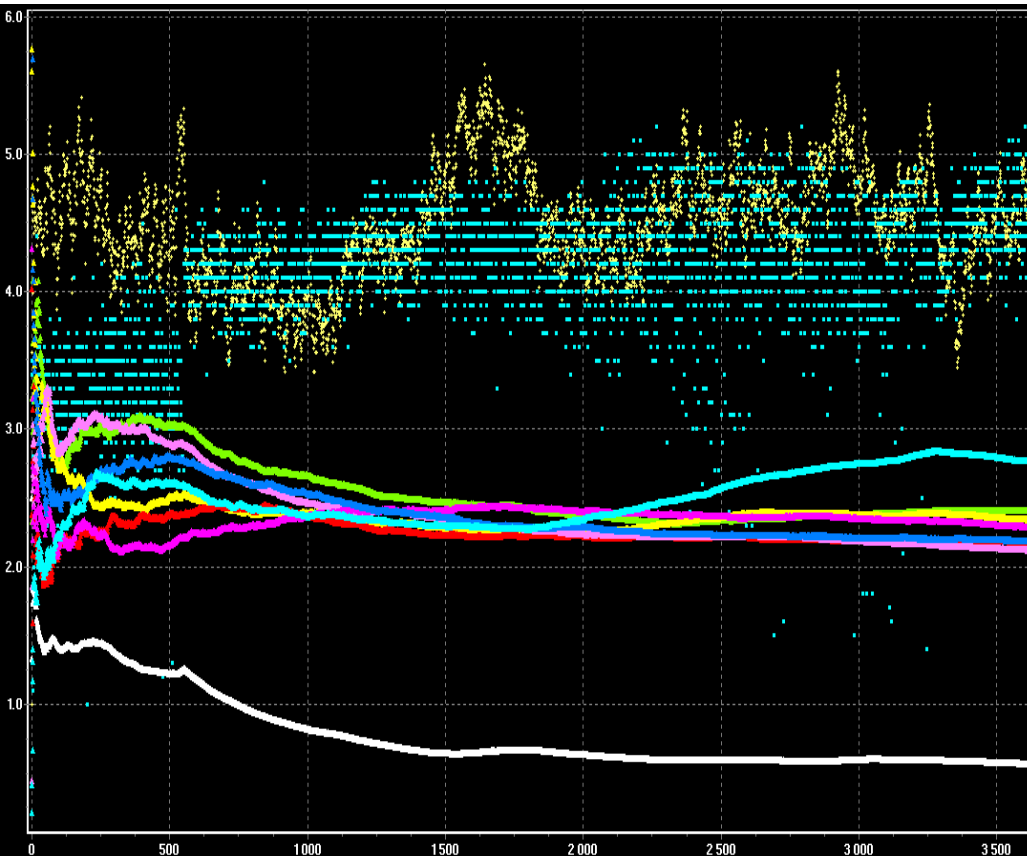
Вывод: многочастичный фильтр лучше в нелинейных моделях

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

Динамика
системы

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

Состояние

Параметры

Шум

динамики

динамики

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

Наблюдение

Параметры

Шум

(ДЗ)

наблюдения

наблюдения

Информация:
переменные

$$I_x = P^{-1}$$

Мера

накопленной
информации

$$i_x = P^{-1} \hat{x}$$

Накопленная

информация

$$\Delta I_x = H^T V^{-1} H$$

Мера

информационного
потока

$$\Delta i_x = H^T V^{-1} y$$

Текущий

вклад в
информацию

Динамика
фильтра

$$\frac{di_x}{dt} = g(i_x, I_x) + K \cdot (y - \hat{y}(i_x)) \quad \text{или} \quad i_x^{k+1} = i_x^k + \Delta i_x$$

Оценка

состояния

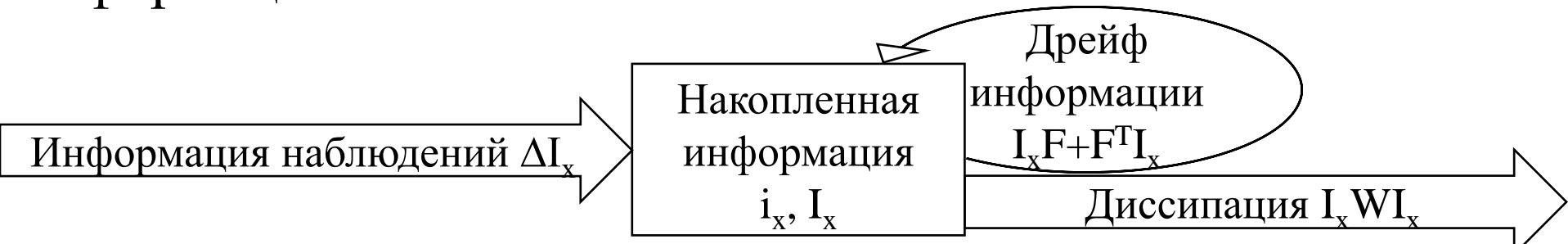
$$K = H^T V^{-1}$$

Ожидаемое

наблюдение

Динамика
информации

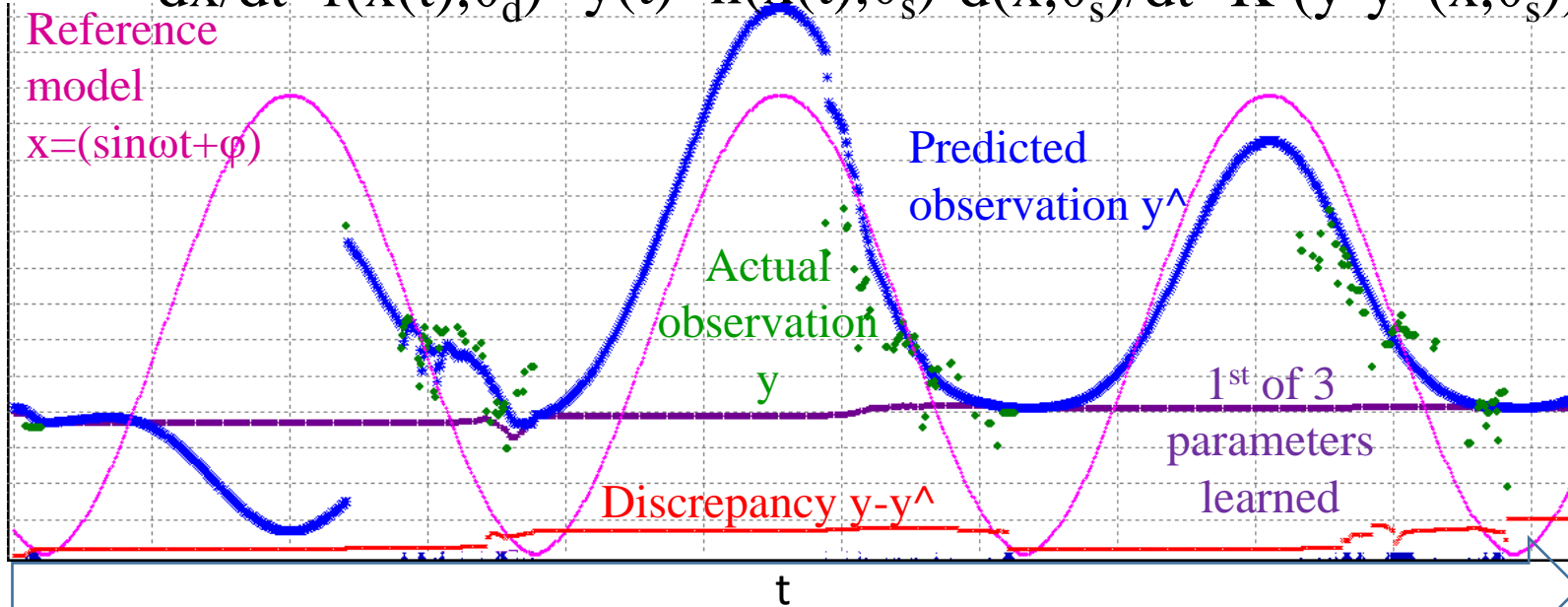
$$\frac{dI_x}{dt} = \Delta I_x - I_x F - F^T I_x - I_x W I_x, \quad F = Df/Dx$$



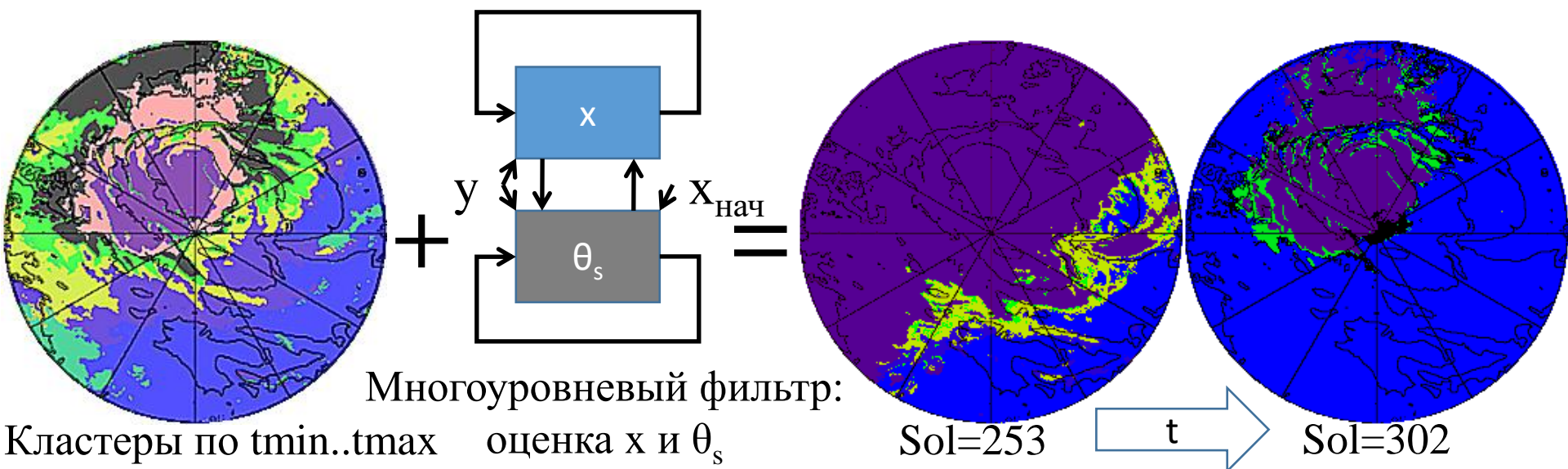
Интерполяция динамики областей (кластеров) ЮПШ Марса

Информационный фильтр Калмана заполняет пробелы гиперспектральных наблюдений

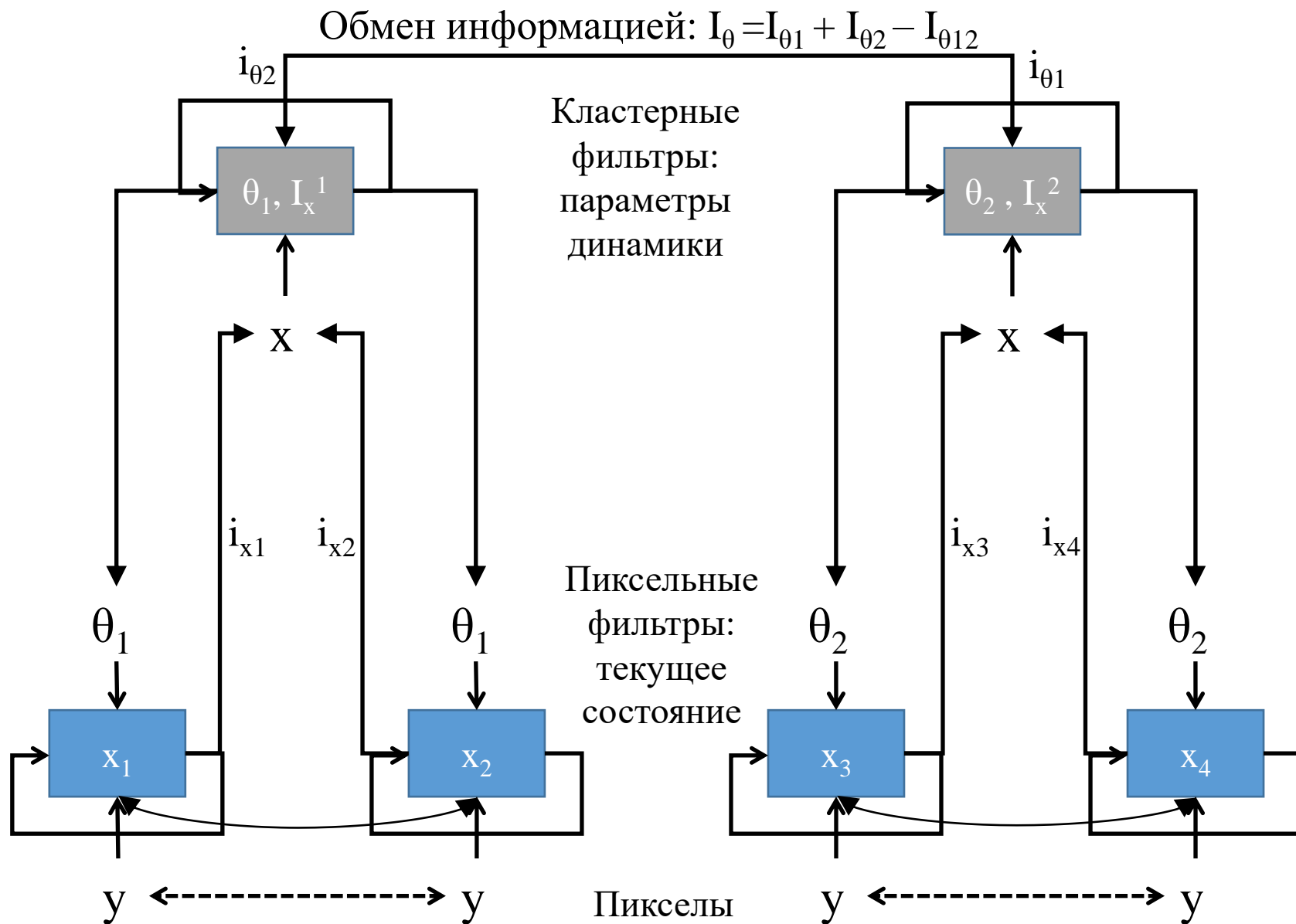
$$dx/dt=f(x(t),\theta_d) \quad y(t)=h(x(t),\theta_s) \quad d(x,\theta_s)/dt=K\cdot(y-y^\wedge(x,\theta_s))$$



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



Распределенный фильтр Калмана

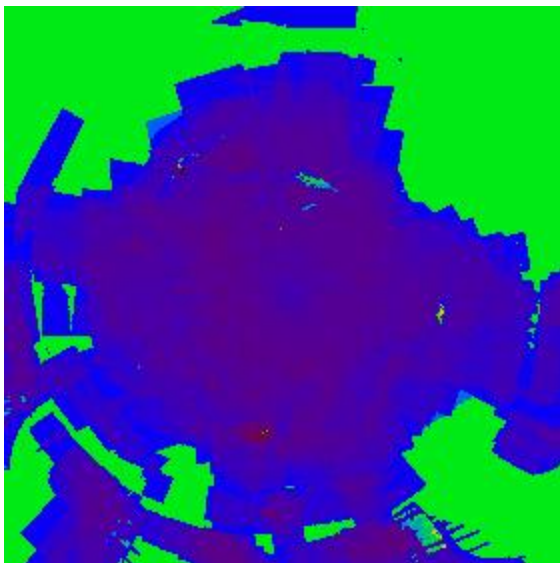
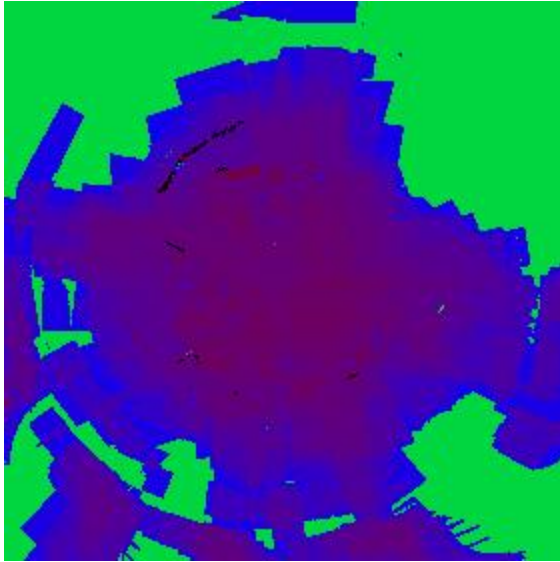


Распределенный фильтр Калмана: оценки информативности «Омеги»

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

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

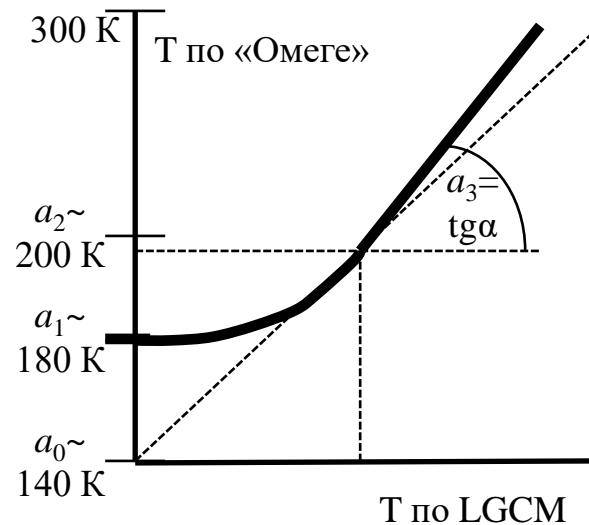
a_0



a_1

Отдельный фильтр Калмана в каждом пикселе (распределенный фильтр).

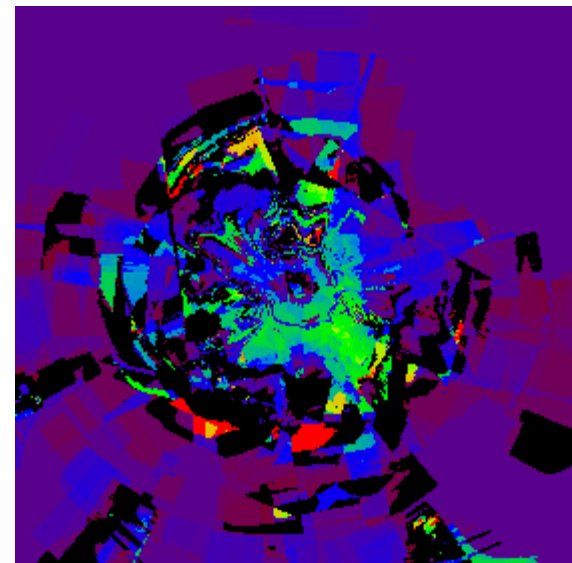
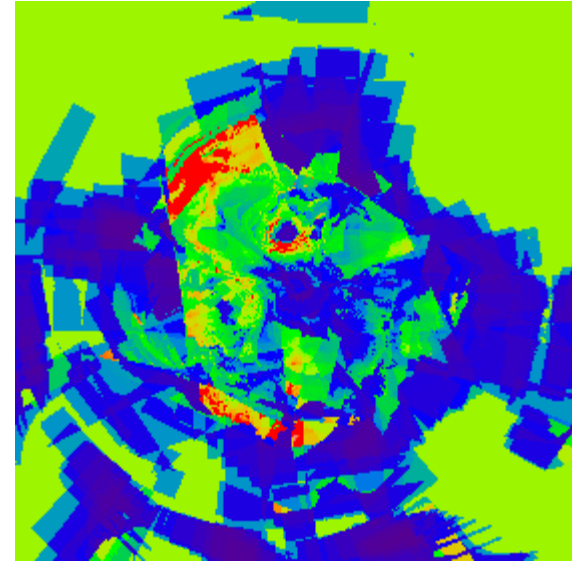
Связь между фильтрами – через параметры пространственных кластеров



Вывод:

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

a_2

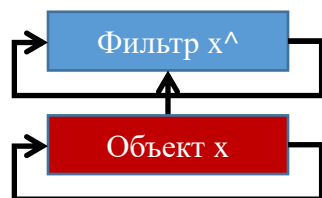


a_3

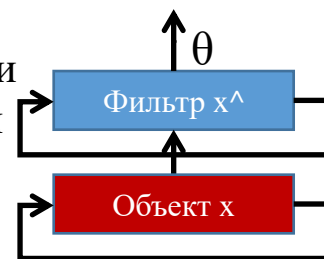
Варианты управления: разомкнутый цикл, «предписанная» ОС, адаптивный цикл

Фильтр
сам по
себе

Сглаживание
динамики
наблюдений ДЗ

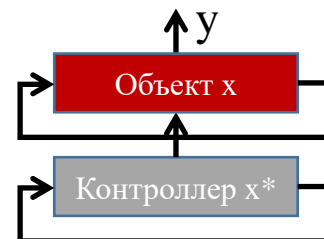


Обучение параметрам модели
динамики и/или параметрам
используемой в имитаторе
модели процесса ДЗ

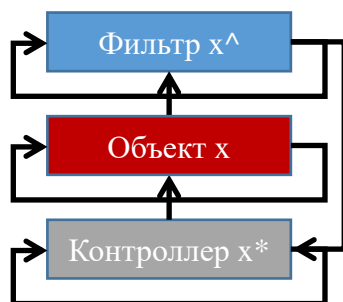


Контроллер
сам по себе

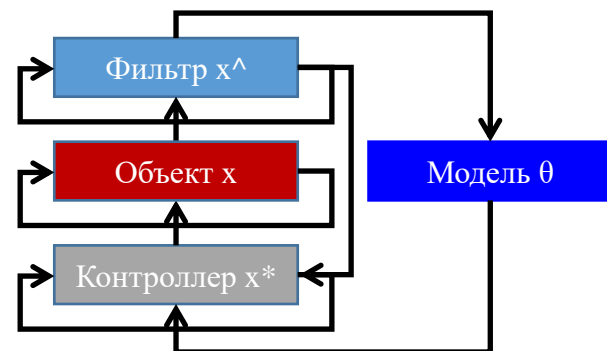
Разомкнутый цикл управления: воздействие на
геосистему по модели ее динамики и наблюдение
результатов, но без их учета в управлении



Контроллер и
фильтр



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

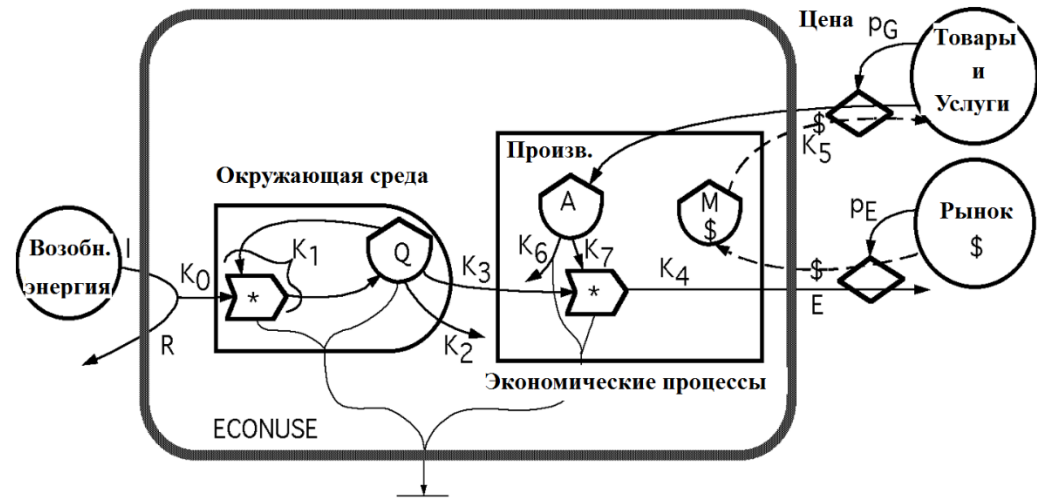


Адаптивное управление (в т.ч.
дуальное): параметры модели
корректируются по мере накопления
информации от наблюдений

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

Эмергетические 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 эмергии (продукта или услуг, сплошная линия) на деньги (пунктирная линия). Цена указана как внешний источник.



Упрощенная схема «природа – производство – экономика»

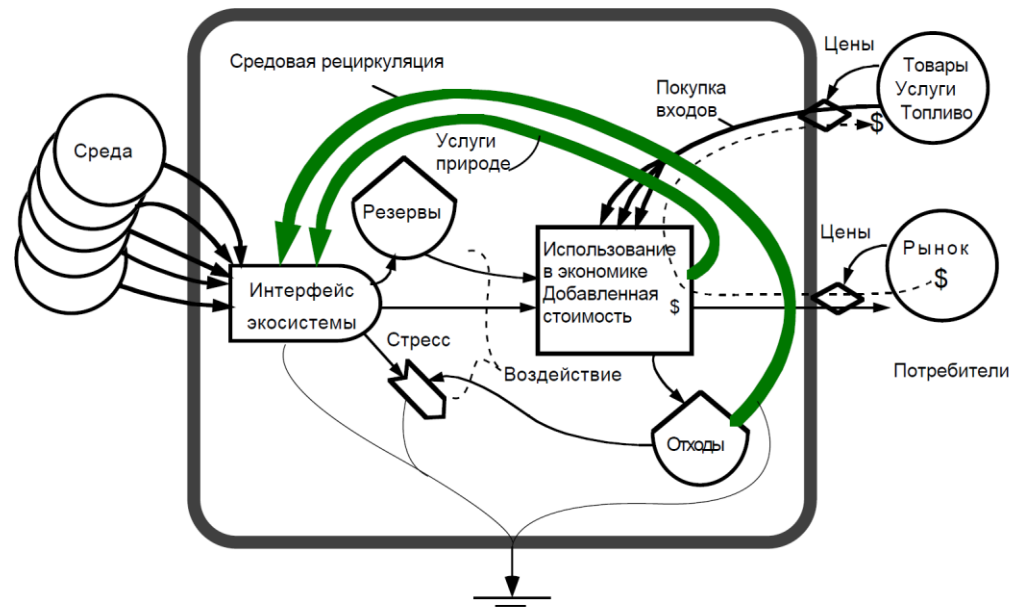
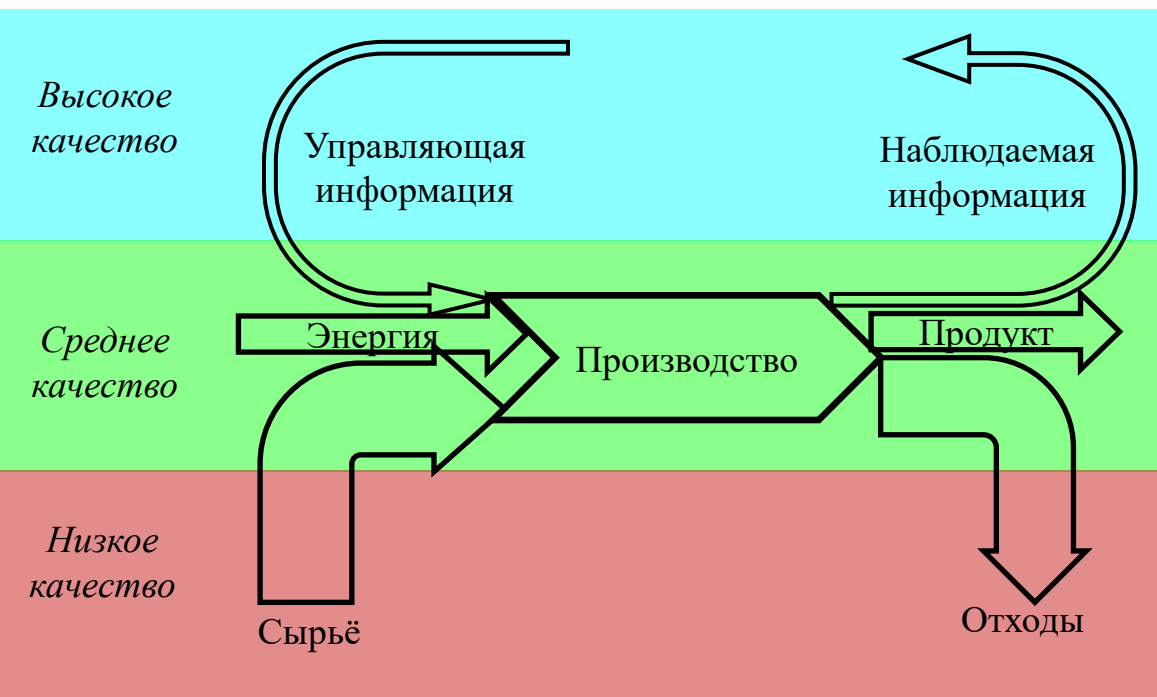


Схема с материально-энергетическим циклом загрязнения

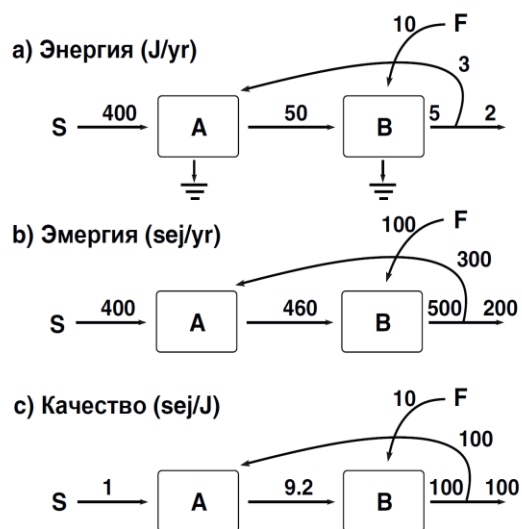
Уровни качества энергии и сохранение энергии и информации



Базовый элемент преобразования качества энергии



Лестница качества информации



Нарушение закона сохранения для эмергии в циклах с обратной связью

Восстановление закона сохранения для информации методами теории распределенного оптимального управления



Эмергетическая 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: \hat{x} -оценка

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

Контроллер: x^* -желаемое

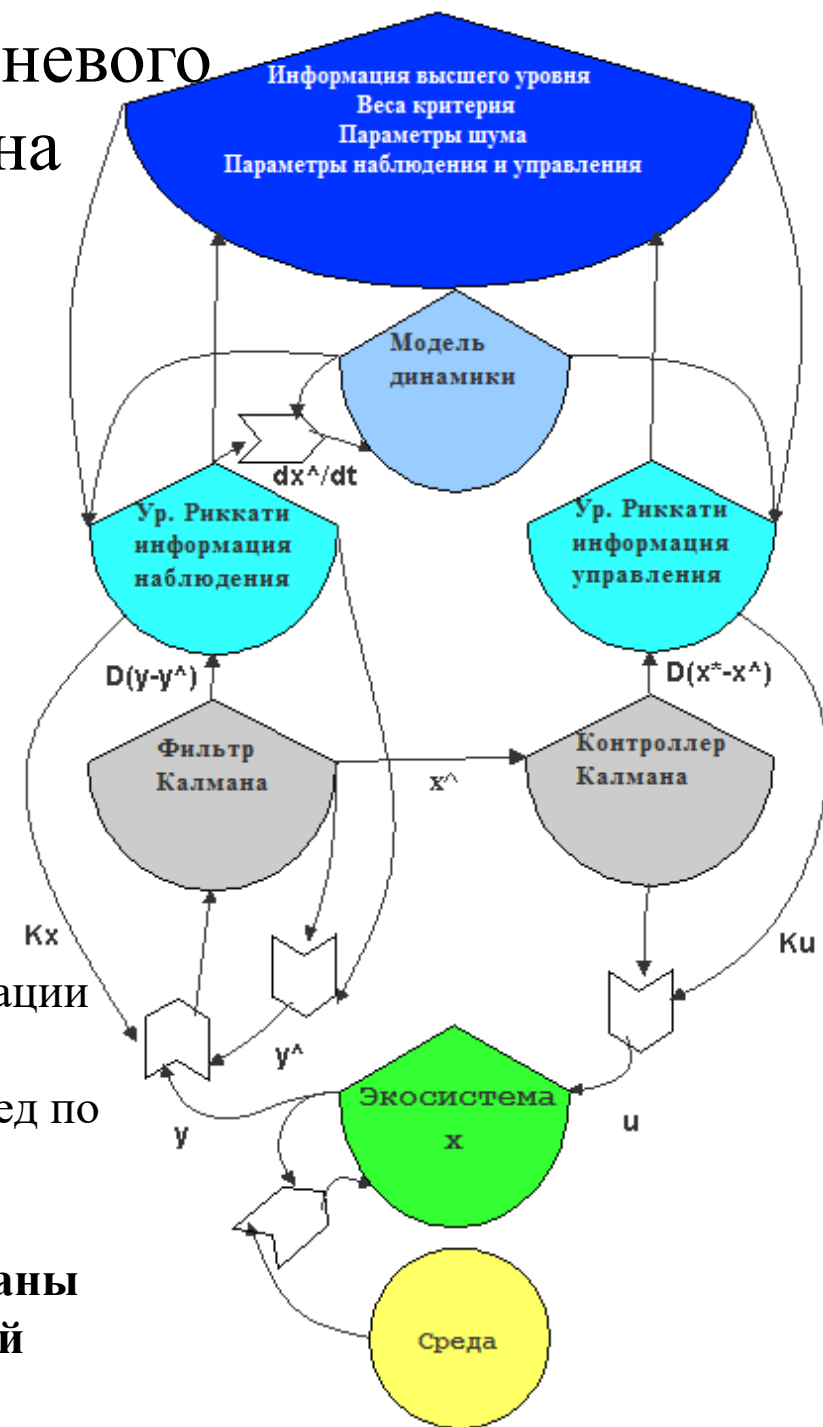
$u(t) = K_u \cdot (x^{\wedge} - x^*)$

Критерий оптимизации

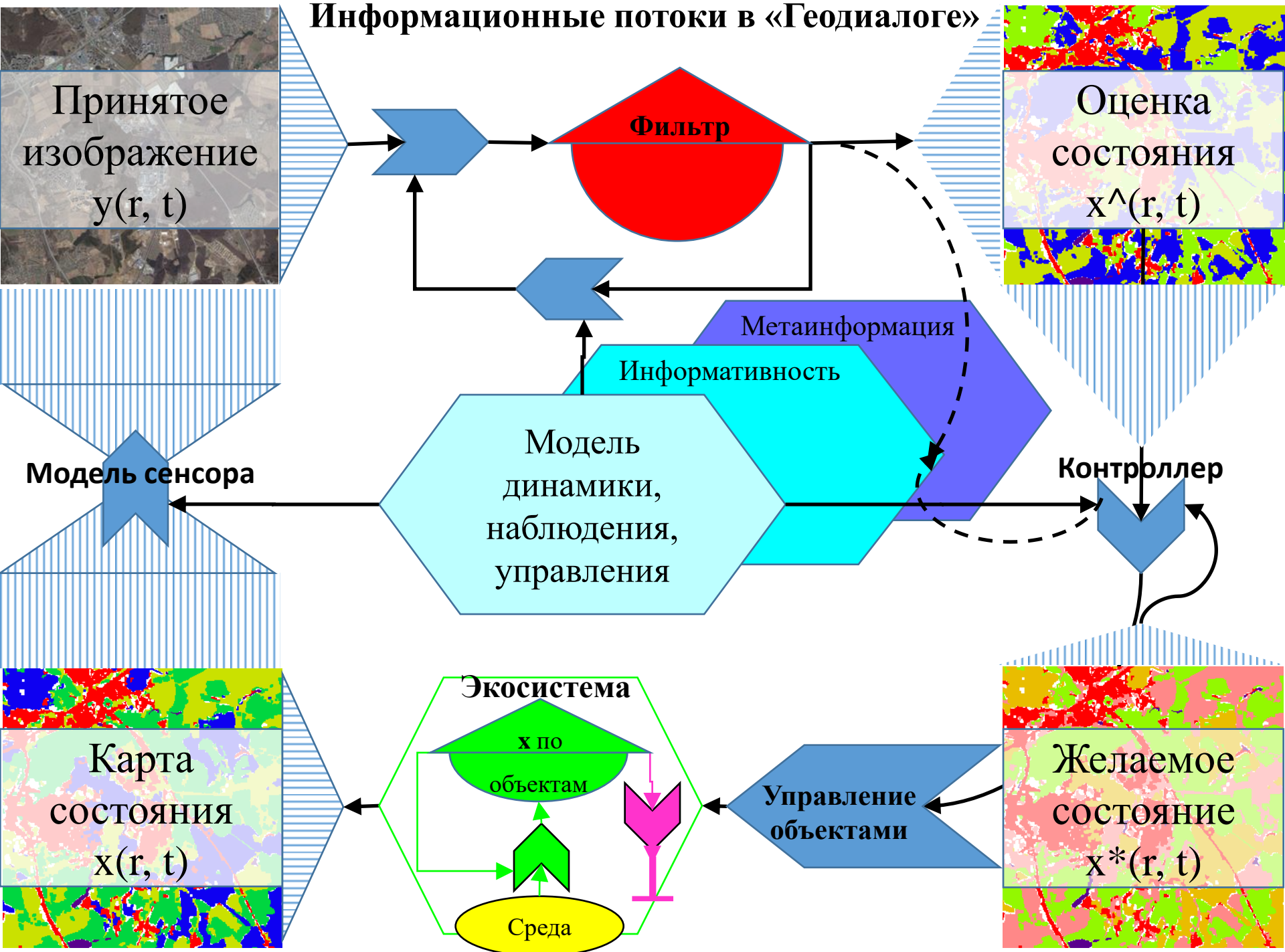
$J = \int [(x - x^*)Q(x - x^*)^T + uRu^T] dt$

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 эмергии. Источники информационной эмергии – экосистема и начальные данные.



Информационные потоки в «Геодиалоге»



Распределенная система наблюдения/управления

