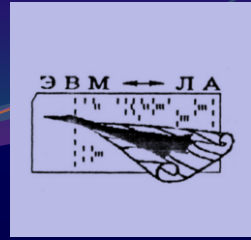


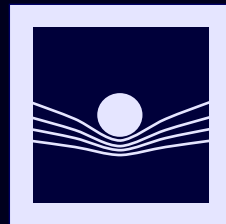
Международный авиационно-космический
научно-гуманитарный семинар имени братьев Белоцерковских
Сергея Михайловича и Олега Михайловича
17 марта 2016 года, г. Москва



Модель самоорганизации поведения группы виртуальных динамических объектов («бóйдов») К. Рейнольдса: основы метода и потенциал приложений

Бубин А.Р.
ООО «ИНТЕЛОНИКА»
г. Новосибирск
info@intelonics.com

Бурдун И.Е.
AIXTREE S.A.S.
г. Мёрой
info@aixtree.com



ИНТЕЛОНИКА



AIXTREE

План доклада

Введение

- Стаи в природе
- Стаи в жизни homo sapiens
- Стайный «интеллект», роль стайного поведения

Модель самоорганизации движения «бойдов» К.Рейнольдса

- К. Рейнольдс – автор модели «бойдов»
- Локальное пространство робота
- Базовые принципы самоорганизации стаи
- Параметры стайной модели
- Библиотека стереотипов стайного поведения
- Примеры моделирования стайных стереотипов

Алгоритмы и программы моделирования виртуальных стай

- Примеры программ
- К построению обобщённой модели движения гетерогенной стаи роботов с шестью степенями свободы

Потенциал приложений модели

- Концепция гетерогенной робототехнической системы
- Примеры сценариев применения стайной робототехники
- Примеры имитационного моделирования гетерогенной робототехнической системы

Заключение

Введение

- Стаи в природе
- Стаи в жизни homo sapiens
- Стайный «интеллект», роль стайного поведения

Модель самоорганизации движения «бойдов» К.Рейнольдса

- К. Рейнольдс – автор модели «бойдов»
- Локальное пространство робота
- Базовые принципы самоорганизации стаи
- Параметры стайной модели
- Библиотека стереотипов стайного поведения
- Примеры моделирования стайных стереотипов

Алгоритмы и программы моделирования виртуальных стай

- Примеры программ
- К построению обобщённой модели движения гетерогенной стаи роботов с шестью степенями свободы

Потенциал приложений модели

- Концепция гетерогенной робототехнической системы
- Примеры сценариев применения стайной робототехники
- Примеры имитационного моделирования гетерогенной робототехнической системы

Заключение

Примеры природных стай



Волчья стая, львиный прайд, стадо антилоп, семейство сурикат; стая акул, косяк сельди, ; стая чаек, осиный рой, комариная «туча»; полчище саранчи, колония муравьёв, ...

Стаи журавлей и лебедей



Птицы образуют стаи, в частности, для сезонных перелётов. Формы: **клин** или угол (журавли), **вереница** (гуси, утки, лебеди), **стая** (скворцы, грачи, ласточки, воробьи и др.). Во главе клина летит самая опытная и сильная птица - **вожак**. Концевые вихри впереди летящих птиц клина помогают стае уменьшить энергозатраты до 70%. **Навигация в стае** осуществляется по магнитному полю Земли: «глаза птиц содержат белок криптохром, который под воздействием света и магнитного поля Земли изменяет свою форму, и по этим сигналам птицы ориентируются».

Источник: <http://www.factroom.ru/facts/32608>

Стаи скворцов (1 из 3)



Источник: <http://nolook.ru/daylook/1176-thousand-birds-look.html>

Стаи скворцов (2 из 3)



Источник: <http://nolook.ru/daylook/1176-thousand-birds-look.html>

Стаи скворцов (3 из 3)

Нажать



"Полёт стаи птиц прост в своей идее и, тем не менее, выглядит настолько сложным, что кажется, что он организован случайно, но при этом великолепно синхронизирован. Быть может, самой большой загадкой является сильное впечатление о том, что у стаи имеется централизованное управление. Однако наблюдения показывают, что **движение стаи - это всего лишь совокупный результат действий её членов, каждый из которых движется на основе своего локального восприятия мира...**"

К. Рейнольдс

Колония муравьёв



«Муравьи-легионеры вида *Eciton hamatum* автоматически образуют "живые" мосты **без какой-либо команды от "главного" муравья...**»,
Цепляясь друг за друга, они «создают мост над открытым пространством ..., чтобы рабочие муравьи имели возможность перенести еду и добычу...».

Источник: <http://www.vokrugsveta.ru/img/cmn/2015/05/13/029.jpg>, <http://innogest.ru/m?na=14207>,
<http://www.newsp.ru/mul-timedia/fotogalereya/murav-i-stroyat-most-iz-svoih-tel-chtoby-pomoch-prohozhdeniyu-sputnikam.html>

Табу́н лошадей, стая пингвинов, львиный прайд



О лошадях, пингвинах, львах, баранах, зайцах, собаках, обезьянах и пр. - см. песни, стихи, прозу, фильмы (мультипликационные, документальные: Союзмультфильм, Discovery, BBC и др.).

Источник: <http://foto-zverey.ru/loshadi5.htm>, http://oboibox.ru/skachat_obi.php?id=237,
<http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4454092>, <http://www.wired.com/2013/03/powers-of-swarms/>

Стая волков (1 из 2)



«... Характер отношений в волчьей стае альтруистичен. ... каждое животное **подчиняет свои личные интересы интересам всего «коллектива»**.... Ранг животного зависит от уровня развития психики, а не только от физических данных. Ведь ... **выживает не столько самый сильный, сколько самый умный**. ... вожаку приходится организовывать охоту (у волков групповой загонный тип охоты, требующий хорошей организации), принимать решения о разделе добычи. ..

Источник: <http://masterok.livejournal.com/67086.html>, <http://masterok.livejournal.com/2121624.html>

Стая волков (2 из 2)

Поэтому в стае царит мир и покой. Младшие слушаются старших и чувствуют себя ... защищенными, а старшие несут бремя ответственности за всех.

Волчья стая имеет **семь рангов**, это прекрасно организованное общество, где каждый понимает **свои права и обязанности**. Управление происходит **без силовых приёмов**, ... **роли распределены**, никто никого не удерживает, но почему-то **все выбирают совместное существование**. Выделение социальных рангов в стае слабо связано с полом и старшинством по возрасту ...».

Ранги:

(1) **Вожак** – «высший социальный ранг. Предполагает ответственность за всю стаю. Вожак решает вопросы местообитания, охоты, защиты, всех организует, устанавливает ранги в стае. Интересно, что **вожак лишен права на защиту...**».

(2) **Воин.**

(3) **Мать.**

(4) **Опекун.**

(5) **Сигнальщик.**

(6) **Щенок.**

(7) **Старик.**

Ранги (2), (3), (4) имеют **подранги**.

NB: В волчьей стае щенки и старики имеют **преимущественное право на питание и защиту...**

Источник: <http://masterok.livejournal.com/2121624.html>

Стая рыб на мелководье

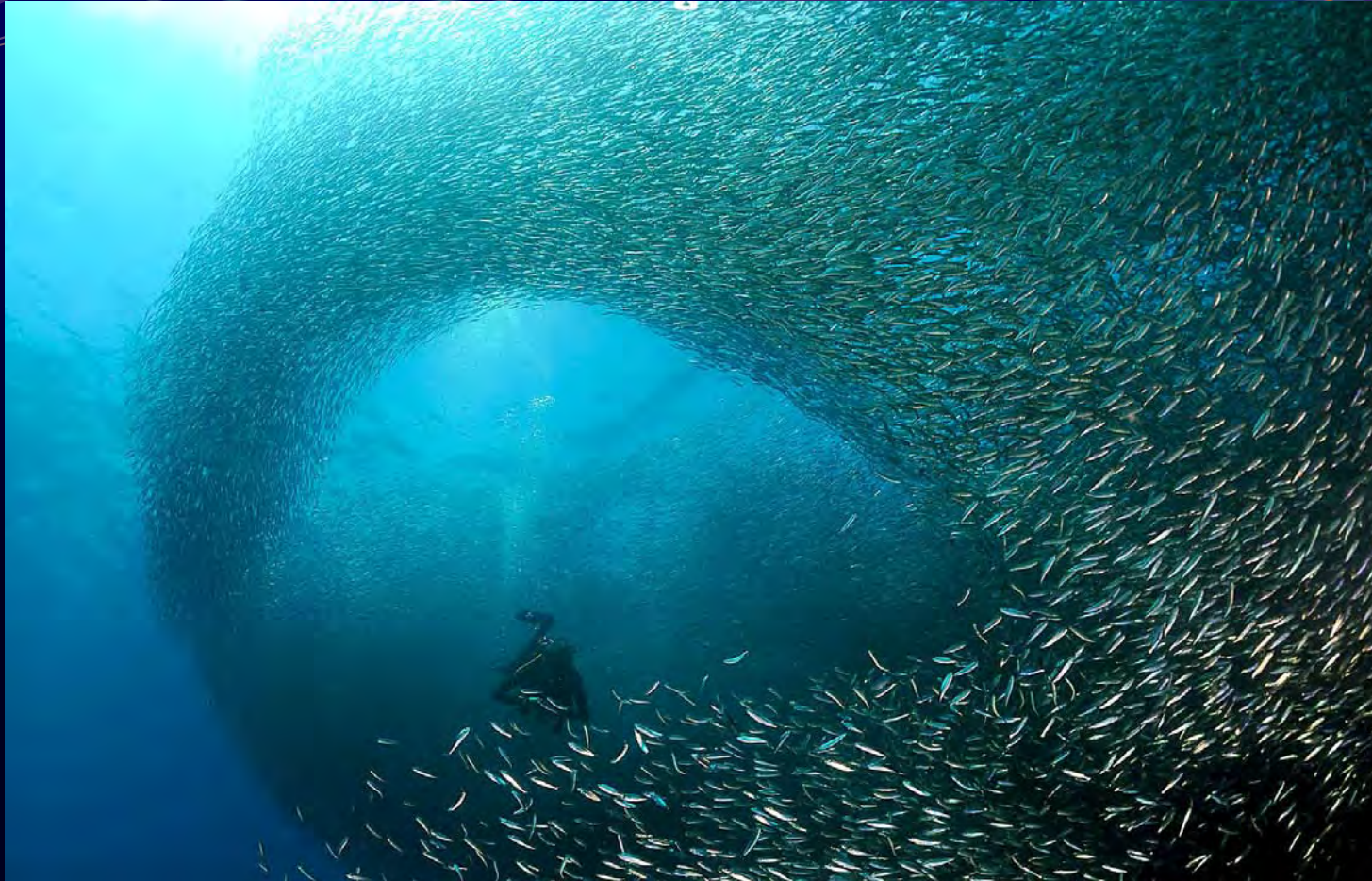


"... и тысячи рыб двигались, как громадное чудище, вспарывая толщу воды. Они казались единёнными, неотвратимо связанными общей судьбой. **Что рождает такое единение?**"

Неизвестный автор, XVII век

Источник: <http://masterok.livejournal.com/502810.html>

Большой косяк рыбы



Стая характеризуется сложным, непредсказуемым поведением, которое подчиняется единой цели и **выглядит как интеллектуальное, как бы синхронизированное извне** массовое действие.

Источник: <http://masterok.livejournal.com/502810.html>

Гетерогенная стая: скумбрия, олуши, тюлени, дельфины, акулы

Нажать



Морские хищники (дельфины, акулы), тюлени и **птицы-хищники** (олуши) образуют временную гетерогенную стаю, чтобы охотиться за скумбрией. **Скумбрия, являясь объектом атаки и потенциальной жертвой**, также сбивается в стаю для улучшения шансов на защиту.

Источник: <http://bytrina11.ru/wp-content/uploads/2013/04/Aviarazvedka-v-poiske-kosyakov-ryib1ust.jpg>

Примеры искусственных стай (1 из 4)



Поток автомобилей в «час пик»; отряд партизан; конница Чингизхана; поток пассажиров в метро, очередь в магазине; банда хулиганов, морские пираты на быстроходных лодках, террористы; армада бомбардировщиков или «стая» подводных лодок времен Второй мировой войны; толпа людей в ситуации паники или ярости; флэш-моб; брокеры и программы-роботы на бирже и др.

Примеры искусственных стай (2 из 4)



http://img-fotki.yandex.ru/get/5702/vahtangovkonstantin.42/o_5b77a_54ebc5d2_XL



<http://img15.nnm.me/4/7/9/d/5/ff027f9ac9e5cbab36711200dad.jpg>

Примеры искусственных стай (3 из 4)



Примеры искусственных стай (4 из 4)



«Стайный интеллект»

Стая характеризуется сложным, непредсказуемым поведением, которое подчиняется единой цели и внешне выглядит как интеллектуальное, как бы синхронизированное извне массовое действие.


Самоорганизующееся, стайное поведение представителей живой природы (группы роботов, людей*) при решении общей задачи часто называют «стайным интеллектом» или Swarm Intelligence.



* при определенных обстоятельствах.

О роли стайного поведения

- ❑ Стаи характеризуются **многообразием форм** и видов.
- ❑ **Стереотипы** стайного поведения оттачивались **тысячелетиями**.
- ❑ **Чем меньше особь, тем больше стая** (максимальный наблюдавшийся **размер стаи сельди - несколько миллионов рыб**).
- ❑ Известны стаи-хищники и стаи-жертвы.
- ❑ Интересы одного **подчиняются интересам стаи**.
- ❑ Стайные системы – **эффективный инструмент борьбы за выживание и доминирование**, выполнения трудоёмких и масштабных работ, достижения других целей **в сложных или неопределённых условиях**.
- ❑ **Противостоять** стайной атаке **не просто, даже группе профессионалов** с центральным управлением из силового ведомства.
- ❑ Функции (социальные роли) внутри стаи **чётко распределены** и могут **автоматически перераспределяться** в зависимости от ситуации.
- ❑ Стайное поведение автомашин на шоссе в «час пик» – и **источник «пробок»**, и **эффективный способ их устранения**.

 **Имитация стайных принципов** в перспективной мобильной робототехнике позволяет **максимально полно использовать закон перехода количества в качество** и преимущества адаптивного группового поведения **во всех потенциальных сферах приложений**.

[К оглавлению
презентации](#)



Введение

- Стаи в природе
- Стаи в жизни homo sapiens
- Стайный «интеллект», роль стайного поведения

Модель самоорганизации движения «бойдов» К.Рейнольдса

- К. Рейнольдс – автор модели «бойдов»
- Локальное пространство робота
- Базовые принципы самоорганизации стаи
- Параметры стайной модели
- Библиотека стереотипов стайного поведения
- Примеры моделирования стайных стереотипов

Алгоритмы и программы моделирования виртуальных стай

- Примеры программ
- К построению обобщённой модели движения гетерогенной стаи роботов с шестью степенями свободы

Потенциал приложений модели

- Концепция гетерогенной робототехнической системы
- Примеры сценариев применения стайной робототехники
- Примеры имитационного моделирования гетерогенной робототехнической системы

Заключение

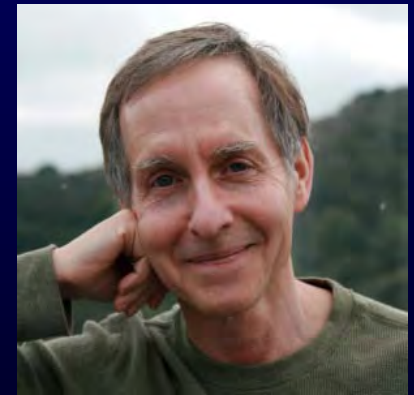
К. Рейнольдс – автор модели стайного поведения виртуальных динамических объектов

Крэйг Рейнольдс (Craig Reynolds) – выдающийся инженер-программист (видеоигры, мультипликация), США.

Автобиография: <http://www.red3d.com/cwr/resumeshort.pdf>

Образование: MIT, M.Sc. (**Информатика и вычислительная техника**), 1978г.

Курсы повышения квалификации: **Artificial intelligence** (2011г.) и **Machine Learning** (2012г.).



Длительное время работал в компании **Sony Computer Entertainment**.

Интересы: разработка и использование **имитационных моделей сложных явлений живой природы** для создания мультипликационных фильмов, видеоигр, произведений искусства.

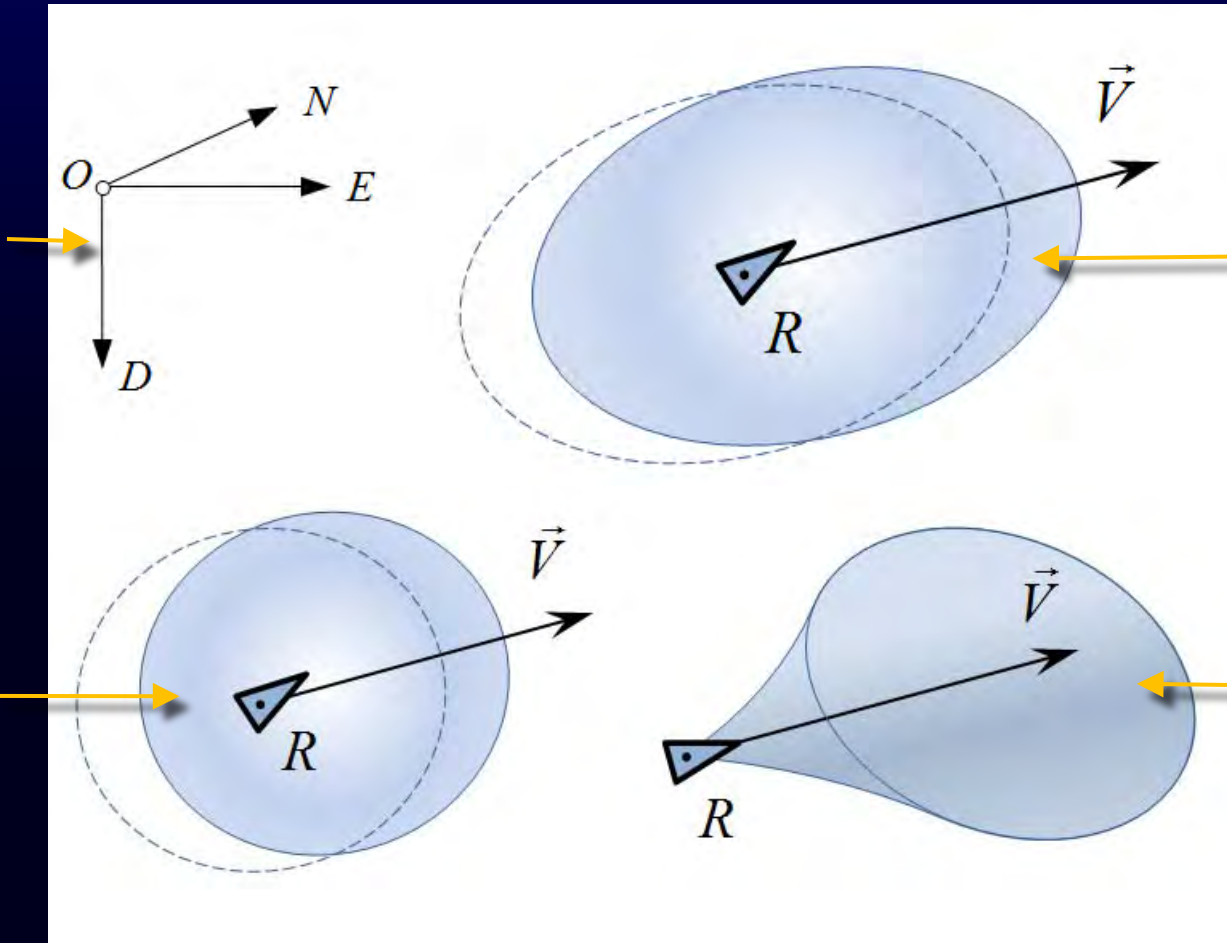
1986 год: Разработал первую и наиболее реалистичную модель стайного поведения **виртуальных динамических объектов – бойдов (boids)**- для имитации на ЭВМ полёта больших стай птиц и групп других живых существ в **мультипликационных фильмах и видеоиграх**, в которых впервые была использована технология трёхмерной анимационной компьютерной графики - см., например, мультфильм **«Король Лев» (Lion King)** и др.



Модели бойдов К. Рейнольдса – 30 лет! Это одна из наиболее популярных, **простых и эффективных** вычислительных моделей стайного поведения любых динамических объектов.

Локальное пространство мобильного робота: примеры простых конфигураций

Нормальная
земная
система
координат

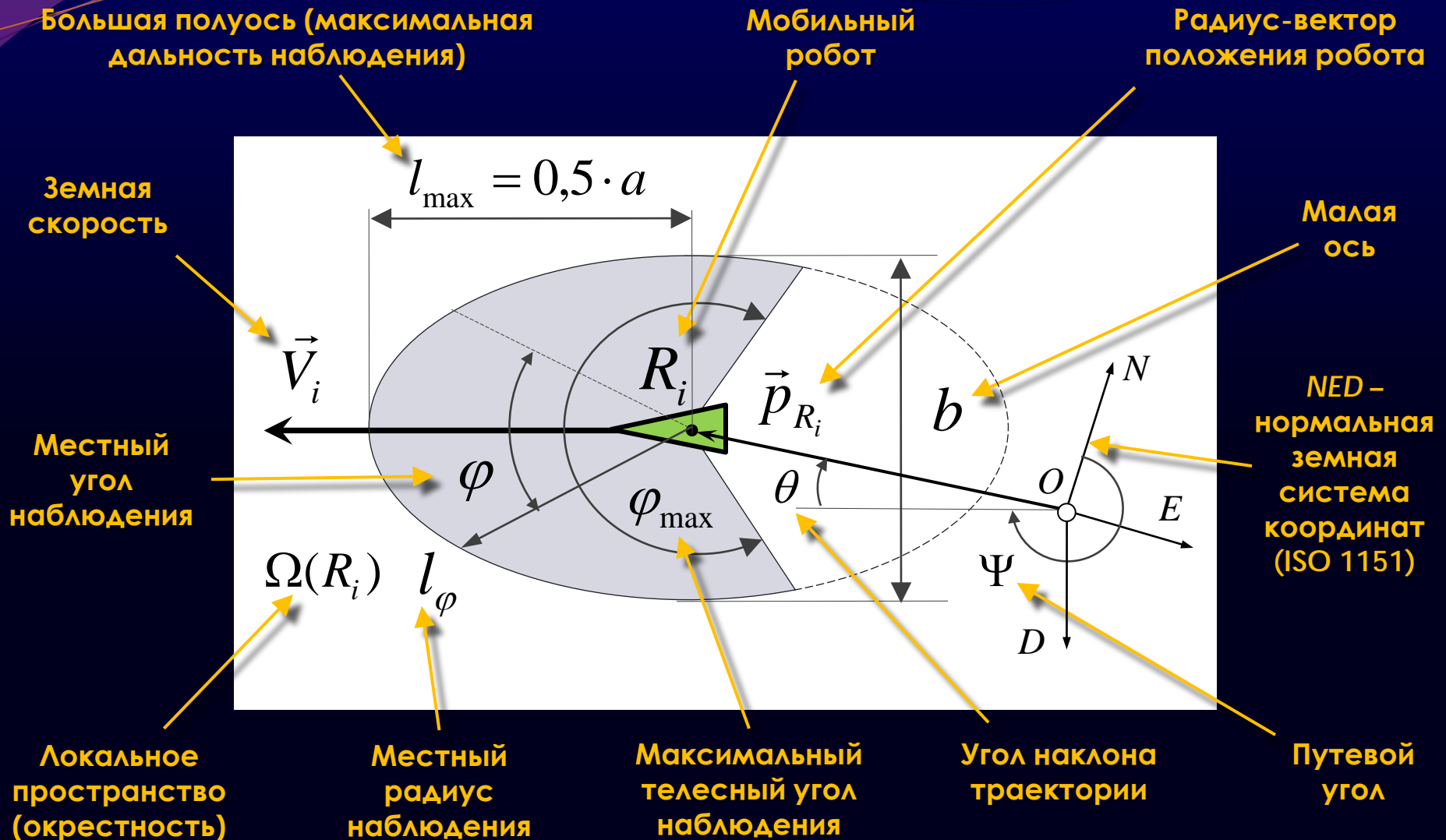


Эллипсоид
или
сфероид

Сфера

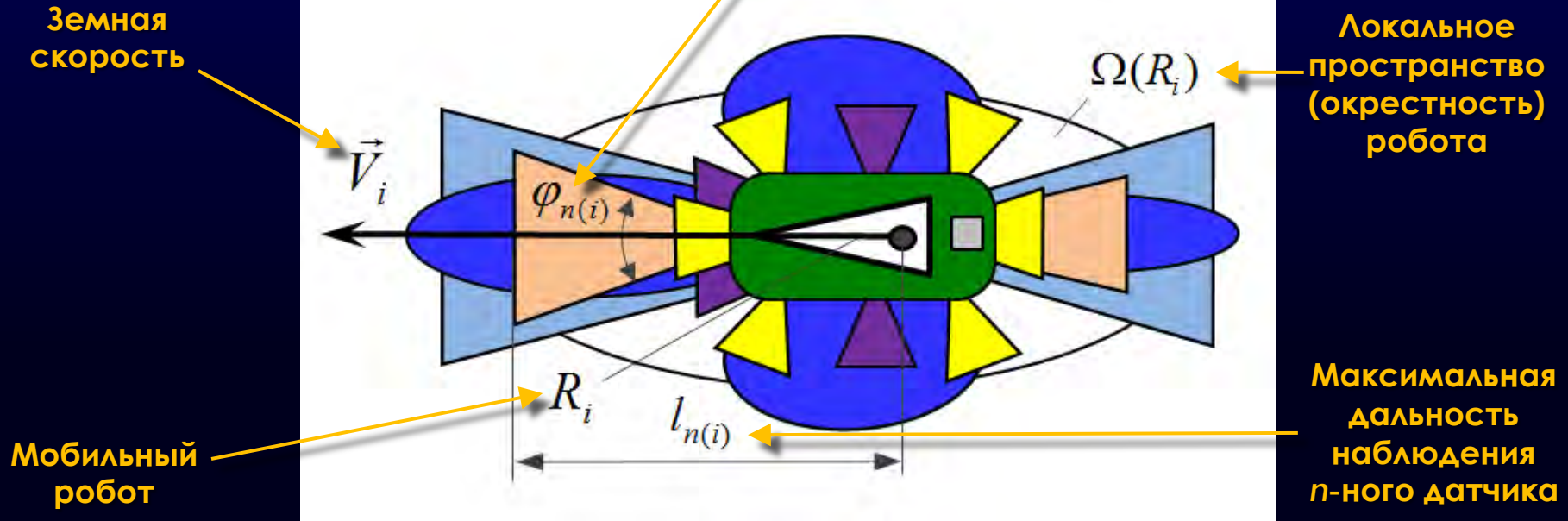
Конус

Параметры описания локального пространства и поступательного движения робота



Составная конфигурация локального пространства. Зоны действия датчиков обобщённой «машины наблюдения» мобильного робота

Максимальный телесный угол наблюдения n -ного датчика

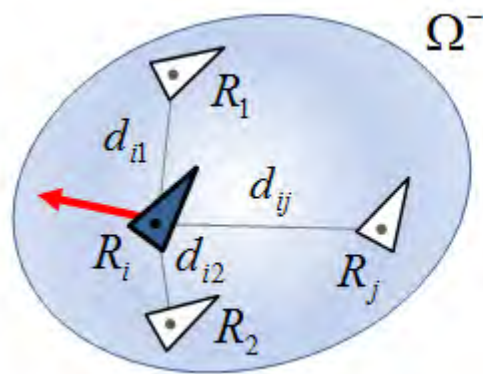


Пояснения: (*) - Развитие схемы из работы: Moore K.L. A Tutorial Introduction to Autonomous Systems 2008 // Proc. of IFAC World Congress, Seoul, Korea, 10 July 2008. – 2008. – 76 PP.

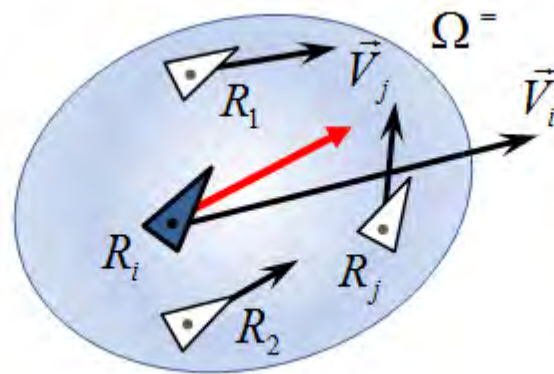
- Локальное пространство мобильного робота
- Ультразвуковой (акустический) датчик («сонар»)
- Радиолокационная станция («радар»)
- Лазерная локационная станция («лидар»)
- Оптическая видеокамера
- Инфракрасная камера («тепловизор»)
- Датчики механического давления или контакта
- Химические, магнитные и другие датчики

Принципы самоорганизации движения мобильных роботов (модель «бойдов» К. Рейнольдса)

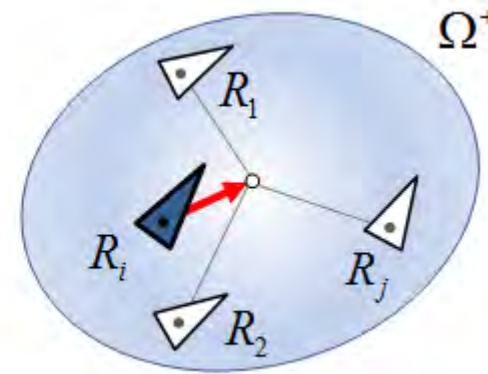
1. «Отталкивание»



2. «Выравнивание» (скорости)



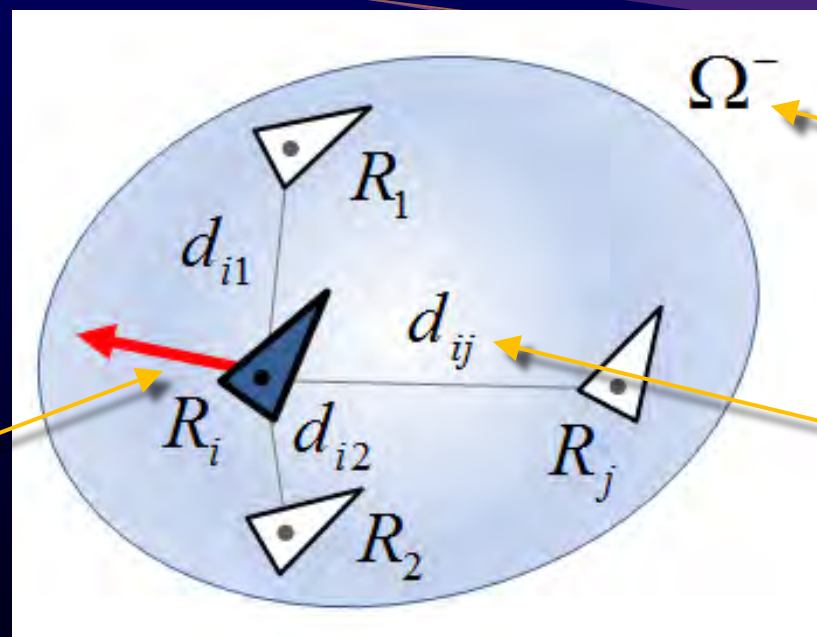
3. «Притяжение»



$$\Omega^- \subset \Omega^= \subset \Omega^+ \subset \Omega(R_i)$$

Принцип №1: «Отталкивание»

Вектор
заданного
смещения



Зона
ОТТАЛКИВАНИЯ

Расстояние
до робота-
соседа

$$(\forall R_j)(R_j \in \Omega^-(R_i) \Rightarrow (d_{ij} \geq d_{\min}))$$

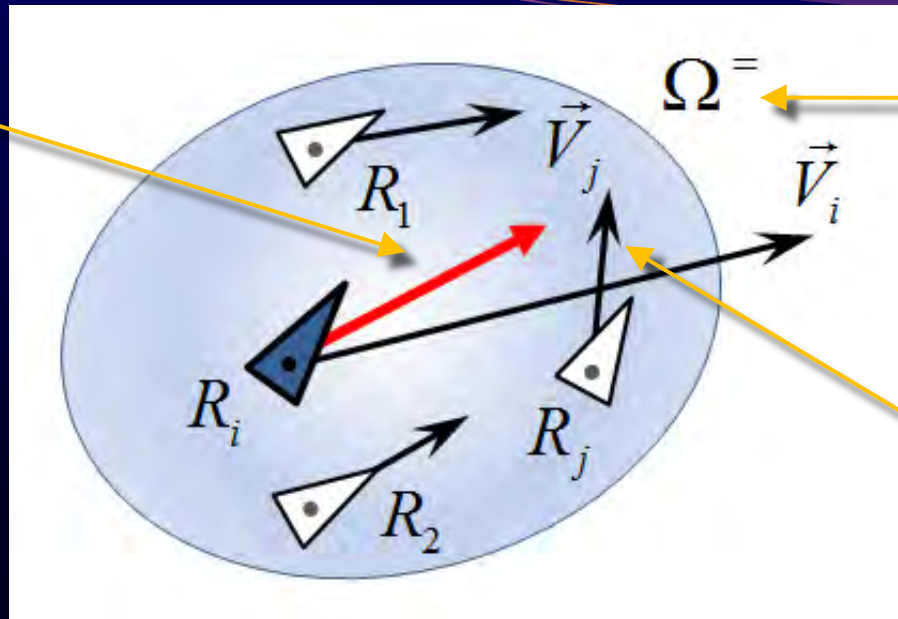
– соблюдать дистанцию, где d_{\min} – минимально допустимое расстояние

от R_i до соседей R_j , $d_{ij} \equiv |\vec{p}_i - \vec{p}_j|$,

$$|\vec{p}_i - \vec{p}_j| = \sqrt{(x_{gi} - x_{gj})^2 + (y_{gi} - y_{gj})^2 + (z_{gi} - z_{gj})^2}, \quad i, j = 1, \dots, N(\Omega(R_i)), \quad i \neq j.$$

Принцип №2: «Выравнивание (скорости)»

Вектор заданной скорости



Зона выравнивания

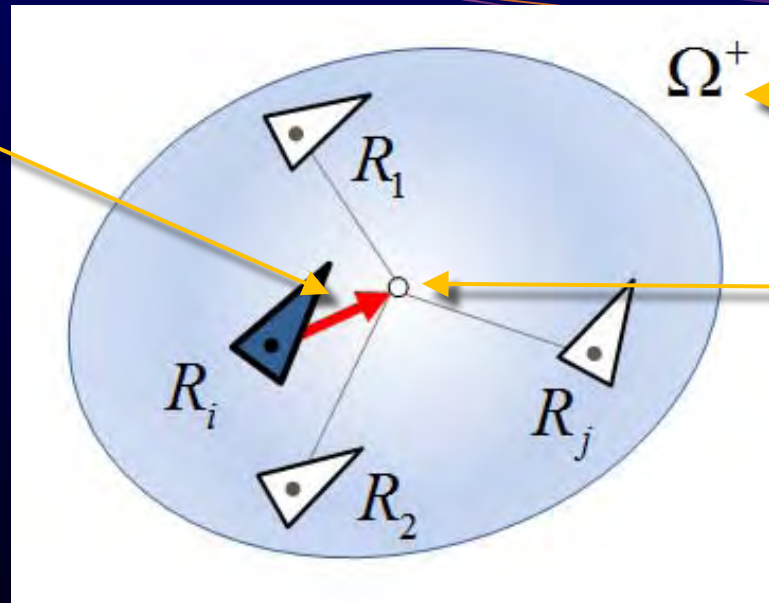
Вектор скорости робота-соседа

$$(\forall R_j)(R_j \in \Omega^-(R_i) \Rightarrow \vec{V}_i \rightarrow \vec{V}_{\otimes})$$

– придерживаться средней скорости движения \vec{V}_{\otimes} соседей робота R_i по «стае», которые образуют локальную окрестность $\Omega(R_i)$ в момент времени t , где $i, j = 1, \dots, N(\Omega(R_i)), i \neq j$.

Принцип № 3: «Притяжение»

Вектор заданного смещения



Зона выравнивания

«Центр тяжести»
окрестности

$$(\forall R_j)(R_j \in \Omega^+(R_i) \Rightarrow \vec{p}_i \rightarrow \vec{p}_\otimes)$$

– стремиться занять положение, близкое к центру тяжести \vec{p}_\otimes

окрестности $\Omega(R_i)$, где $\vec{p}_\otimes = \sum_{j=1}^{N(\Omega(R_i))} \vec{p}_j \cdot [N(\Omega(R_i))]^{-1}, i \neq j.$

Структура локального пространства мобильного робота

Зона отталкивания

Зона выравнивания (скорости)

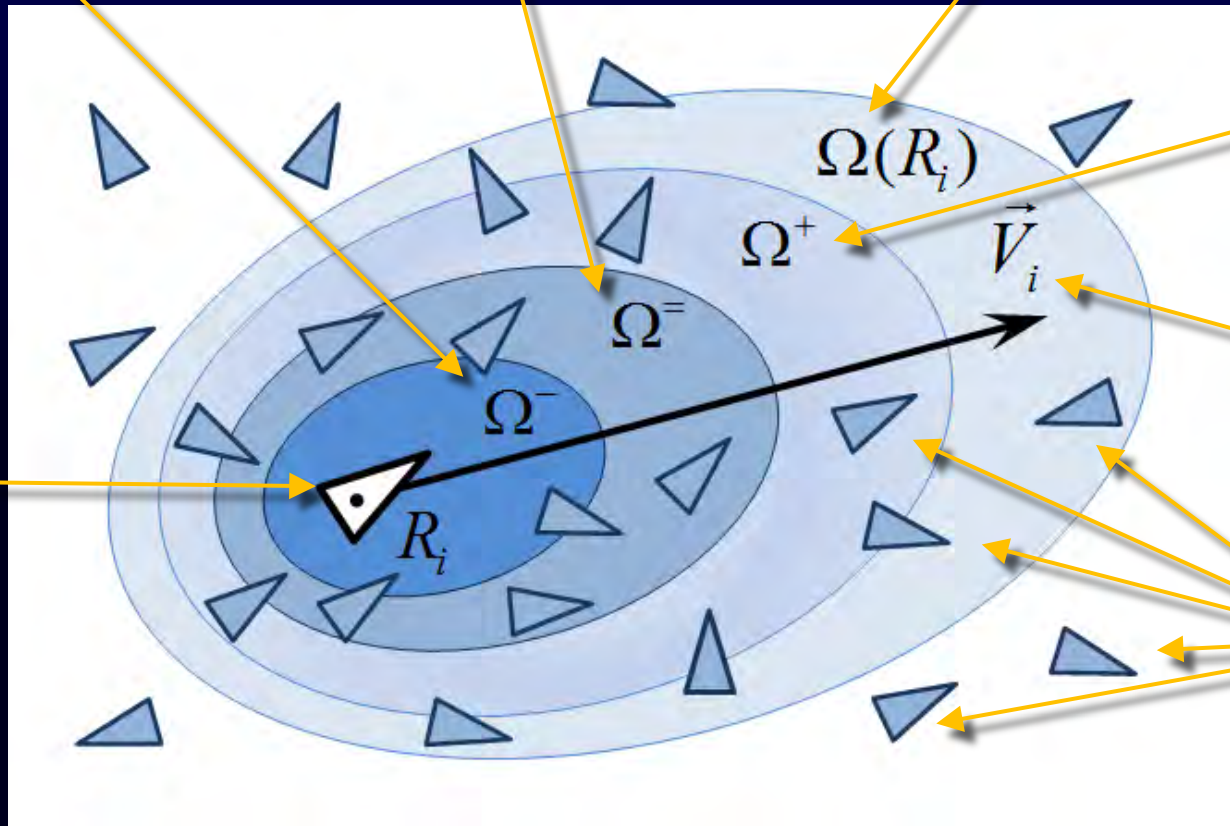
Локальное пространство (окрестность) робота

Зона притяжения

Земная скорость

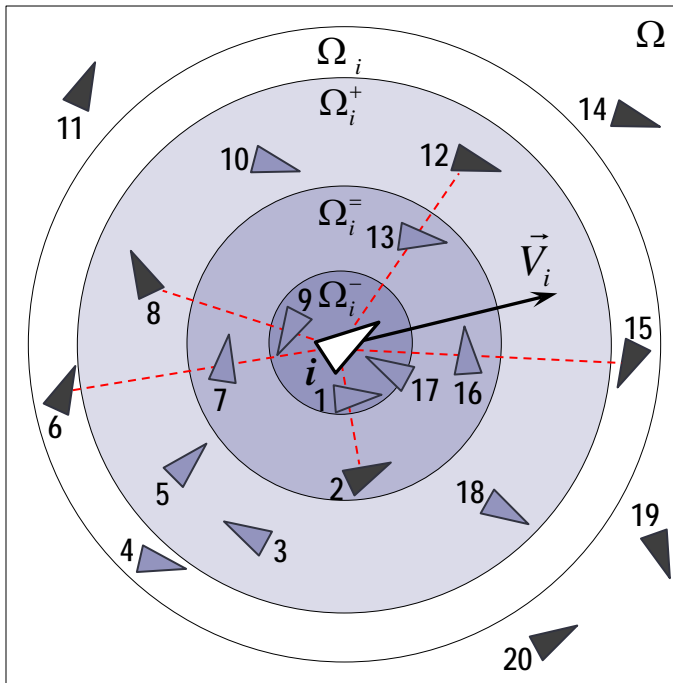
Роботы-соседи

Мобильный робот



$$\Omega^- \subset \Omega^= \subset \Omega^+ \subset \Omega(R_i)$$

Пример наполнения локального пространства робота



$$\Omega_i \equiv \Omega(R_i)$$

$$\Omega_i^- = \{R_1, R_9, R_{17}\}$$

$$\Omega_i^- - \Omega_i^- = \{R_2, R_7, R_{13}, R_{16}\}$$

$$\Omega_i^+ - \Omega_i^- = \{R_3, R_5, R_8, R_{10}, R_{12}, R_{18}\}$$

$$\Omega_i - \Omega_i^+ = \{R_4, R_6, R_{15}\}$$

$$\Omega - \Omega_i = \{R_{11}, R_{14}, R_{19}, R_{20}\}$$

$$\Omega_i^{NO} = \{R_2, R_6, R_8, R_{12}, R_{15}\}$$

$$\Omega_i^{TO} = \Omega_i - \Omega_i^{NO}$$

$$\Omega_i^{TO} = \{R_1, R_3, R_4, R_5, R_7, R_9, R_{10}, R_{13}, R_{16}, R_{17}, R_{18}\}$$

$$N(\Omega) = 20, N(\Omega_i) = 16$$

$$N(\Omega_i^{NO}) = 5, N(\Omega_i^{TO}) = 11$$

Параметры описания движения стаи роботов (1 из 2)

$$\{\Omega(A), (NED), \Omega(R), N, t, \Omega(G), \Omega(C), \Omega(\mathfrak{S}), \Omega(R_i), \Omega_i^-, \Omega_i^-, \Omega_i^+, V_i^{\min}, V_i^{\max}, d_{\min}, d_{\max}, \varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}, a_i^{\max}, \omega_i^{\max}, r_i^{\max}, \varphi_{n(i)}^{\max}, l_{n(i)}^{\max}, \Delta_{n(i)}^{\min}, \varepsilon_{n(i)}^{\max}, \dots\},$$

$\Omega(A)$	–	область приложений (класс решаемых задач);
$\Omega(R)$	–	класс(ы) используемых роботов
$\Omega(G), \Omega(C)$	–	множество целей (целевых объектов или процессов) и ограничений (препятствий);
$\Omega(\mathfrak{S})$	–	множество тактик внешнего управления (информационно-управляющих полей и их параметров);
V_i^{\min}, V_i^{\max}	–	предельные скорости движения робота R_i ;
d_{\min}, d_{\max}	–	предельные расстояния взаимного расположения роботов;
$\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}$	–	допуски на выдерживание заданных расстояний;
$a_i^{\max}, \omega_i^{\max}, r_i^{\max}$	–	соответственно, максимальное линейное ускорение, максимальная угловая скорость и минимальный радиус разворота робота R_i ;
$\varphi_{n(i)}^{\max}, l_{n(i)}^{\max}, \Delta_{n(i)}^{\min}, \varepsilon_{n(i)}^{\max}$	–	соответственно, максимальный телесный угол, максимальный радиус, минимальный шаг (по t) и максимальная погрешность наблюдения состояния окрестности $\Omega(R_i)$ с помощью n -го датчика «машины наблюдения» робота R_i ;
...	–	другие параметры.

Параметры описания движения стаи роботов (2 из 2)

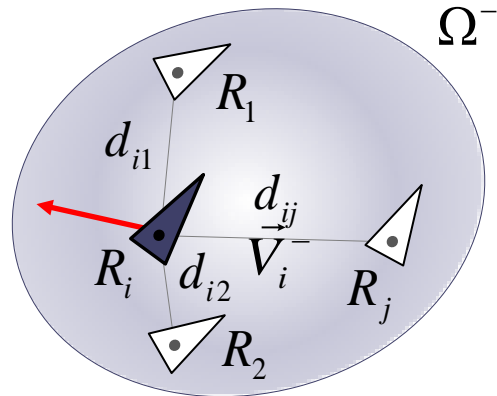
Нажать



Другие параметры
стаиной модели

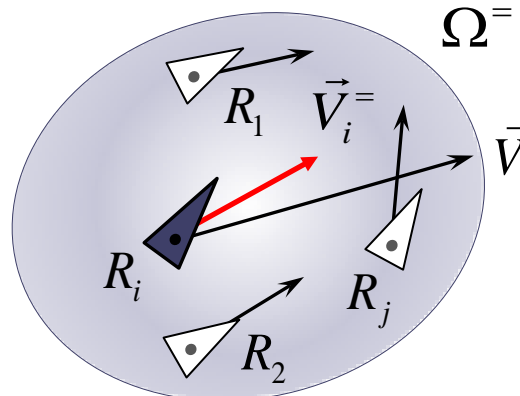
Определение целевых векторов скорости отталкивания, выравнивания и притяжения

(1) «Отталкивание»



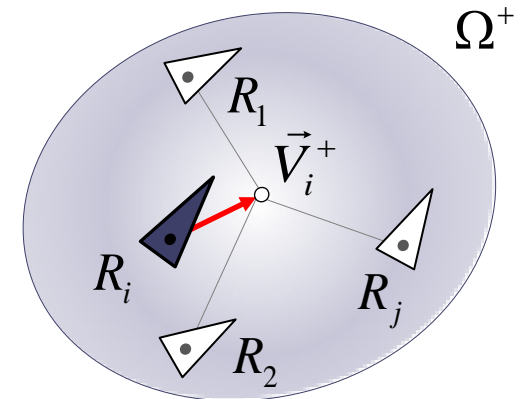
$$\vec{V}_i^- = f(d_{ij})$$

(2) «Выравнивание»



$$\vec{V}_i^- = f(\vec{V}_j)$$

(3) «Притяжение»



$$\vec{V}_i^+ = f(\vec{p}_j)$$

Последовательное применение этих правил в локальном пространстве каждого робота на очередном шаге движения стаи (с учётом текущего положения роботов-соседей) даёт, соответственно, **три целевых вектора скорости движения** робота для реализации на очередном шаге стайного движения.

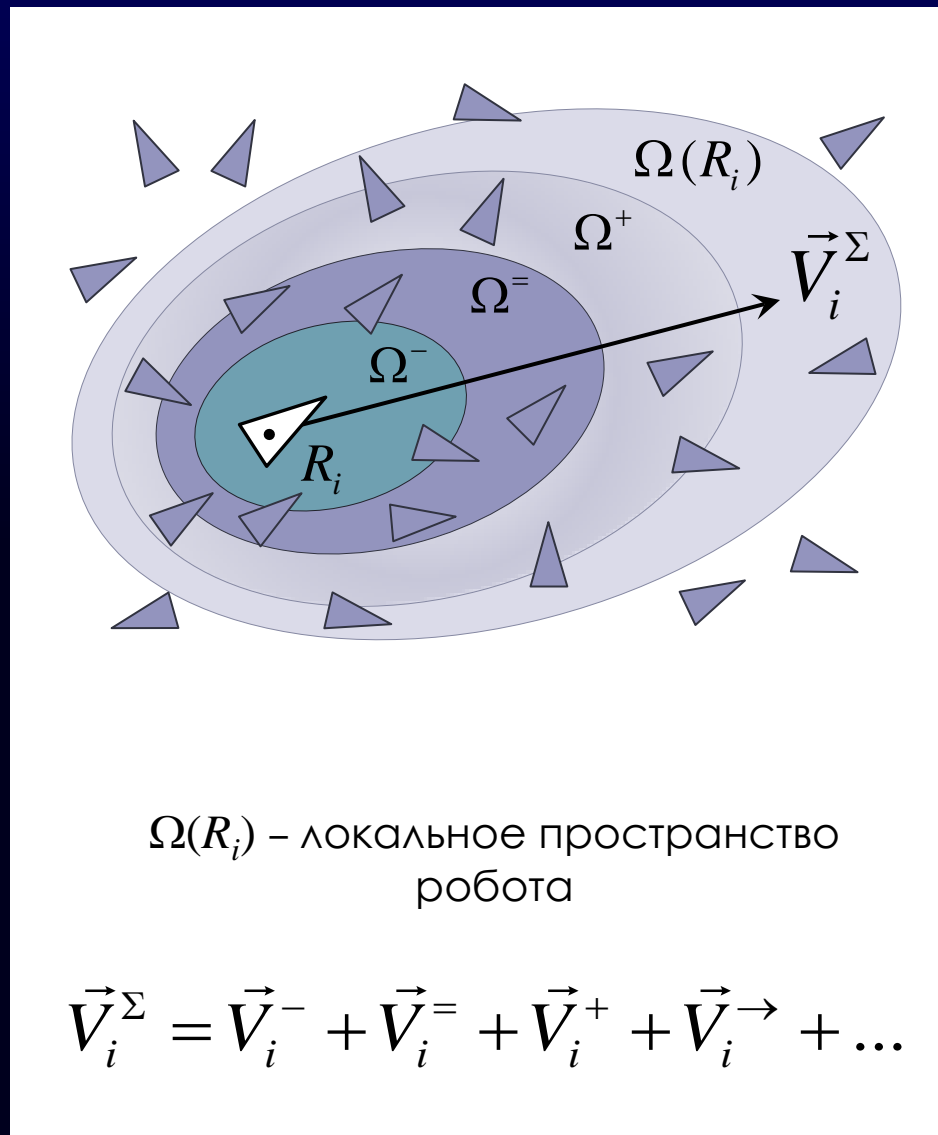


Принцип вычисления целевого состояния робота в стае

Другие целевые векторы скорости и углового положения робота – помимо тех, которые следуют из правил (1)-(3) – определяются выполняемой **задачей, командами внешнего оператора, стереотипами и императивами поведения** робота.

Результирующий целевой вектор состояния робота для реализации на очередном шаге движения вычисляется как **взвешенная сумма** этих векторов в зависимости от расстояния между роботами и др.

Целевые векторы представляют собой **заданные состояния роботов для реализации на очередном шаге** при помощи органов управления скоростью, пространственным положением и оборудованием полезной нагрузки.



Пример библиотеки стереотипов адаптивного поведения стай мобильных роботов (1 из 2)

V ₁ :	«Приближаться к объекту»
V ₂ :	«Удаляться от объекта»
V ₃ :	«Преследовать объект»
V ₄ :	«Убегать от объекта»
V ₅ :	«Бродить в заданном районе случайным образом»
V ₆ :	«Следовать за лидером»
V ₇ :	«Сопровождать объект с заданным смещением»
V ₈ :	«Преследовать объект с заданным смещением»
V ₉ :	«Прибыть в заданную точку»
V ₁₀ :	«Причалить к заданной точке»
V ₁₁ :	«Избегать столкновений с препятствиями»
V ₁₂ :	«Следовать по заданной траектории»
V ₁₃ :	«Огибать рельеф местности»
V ₁₄ :	: «Избегать столкновений с подвижными объектами»
V ₁₅ :	«Следовать вдоль стены»
V ₁₆ :	«Находиться в пределах заданной области»
V ₁₇ :	«Следовать вдоль линий векторного поля»
V ₁₈ :	«Следовать вдоль градиента потенциального поля»
V ₁₉ :	«Следовать по сигналам <u>искусственных феромонов</u> »
V ₂₀ :	«Рассредоточиться в заданном районе»

Стереотипы разработаны К. Рейнольдсом. Библиотека стереотипов является открытой (наращиваемой).

→ Расчётные схемы этих стереотипов будут представлены ниже.

Пример библиотеки стереотипов адаптивного поведения стай мобильных роботов (2 из 2)

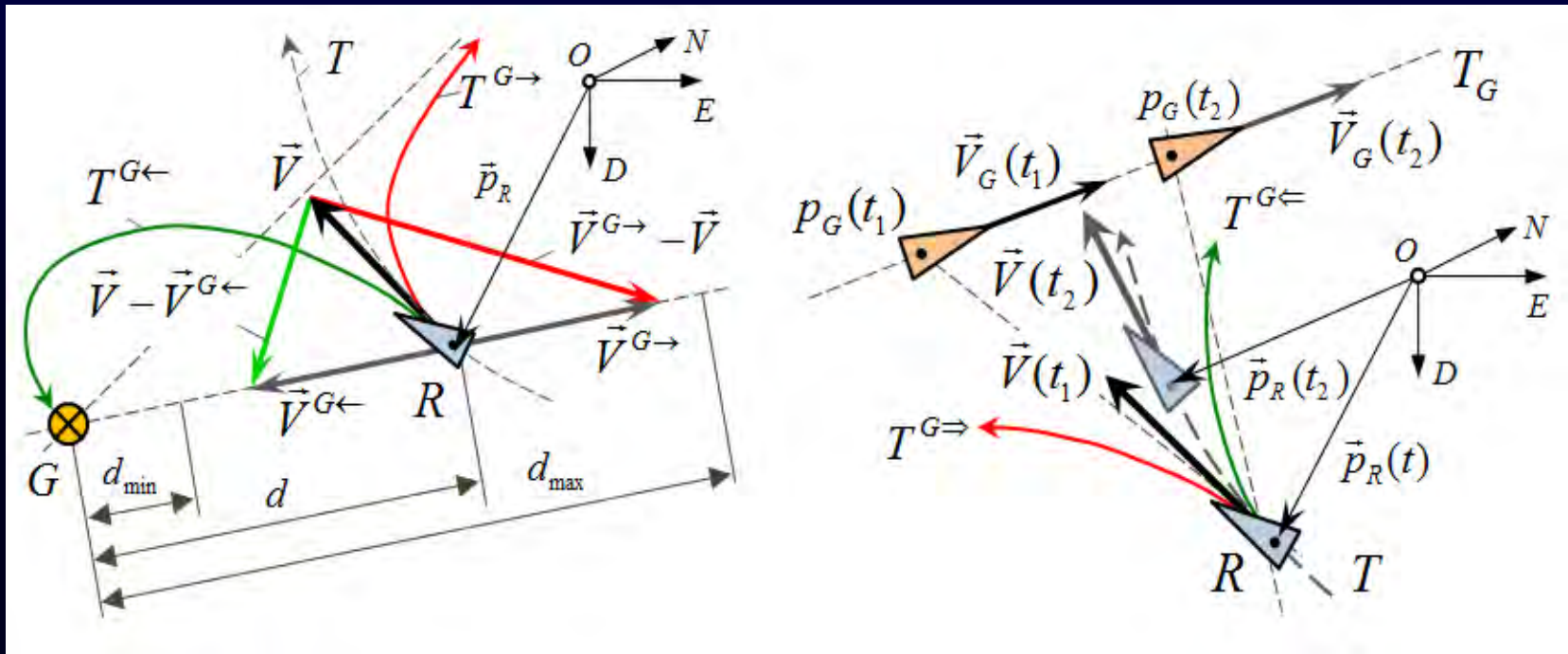
V₂₁:	«Пройти между препятствиями»
V₂₂:	«Найти точку по заданным координатам»
V₂₃:	«Искать объект (процесс)»
V₂₄:	«Наблюдать (объект процесс)»
V₂₅:	«Взять объект(ы)»
V₂₆:	«Доставить объект(ы) в заданную точку»
V₂₇:	«Охранять территорию»
V₂₈:	«Охранять периметр»
V₂₉:	«Охранять (стеречь) объект (добычу)»
V₃₀:	«Блокировать продвижение объекта»
V₃₁:	«Защищать территорию (прайд)»
V₃₂:	«Защищать периметр»
V₃₃:	«Защищать объект»
V₃₄:	«Заслонить объект»
V₃₅:	«Обездвижить объект»
V₃₆:	«Охотиться»
V₃₇:	«Самопожертвовать (режим камикадзе)»
V₃₈:	«Двигаться в заданном направлении»
V₃₉:	«Сформировать заданный порядок»
V₄₀:	«Создать детерминированный хаос»

Более сложные стереотипы, переходы и связки стереотипов формируются динамически - как композиции более простых (на основе автоматов перехода состояний, ситуационных сценариев, других и методов).

V_1 : «Приблизиться к объекту», V_2 : «Удалиться от объекта», V_3 : «Преследовать объект», V_4 : «Убегать от объекта»

V_1, V_2

V_3, V_4

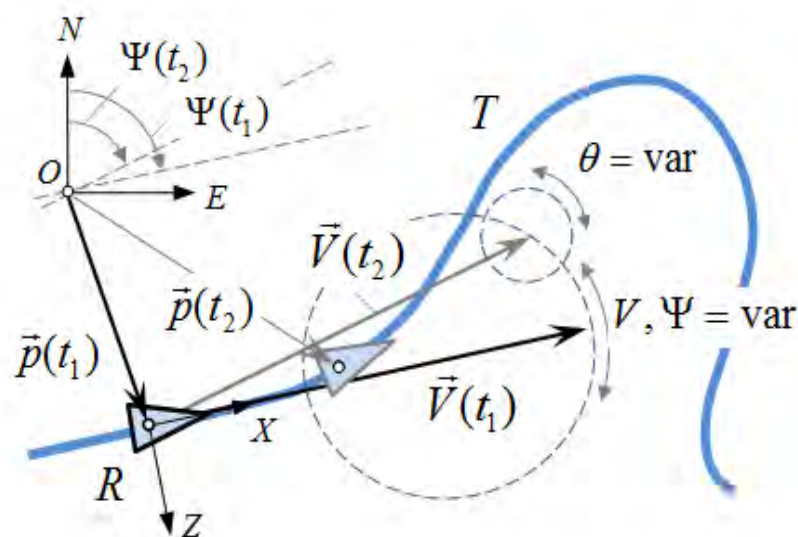
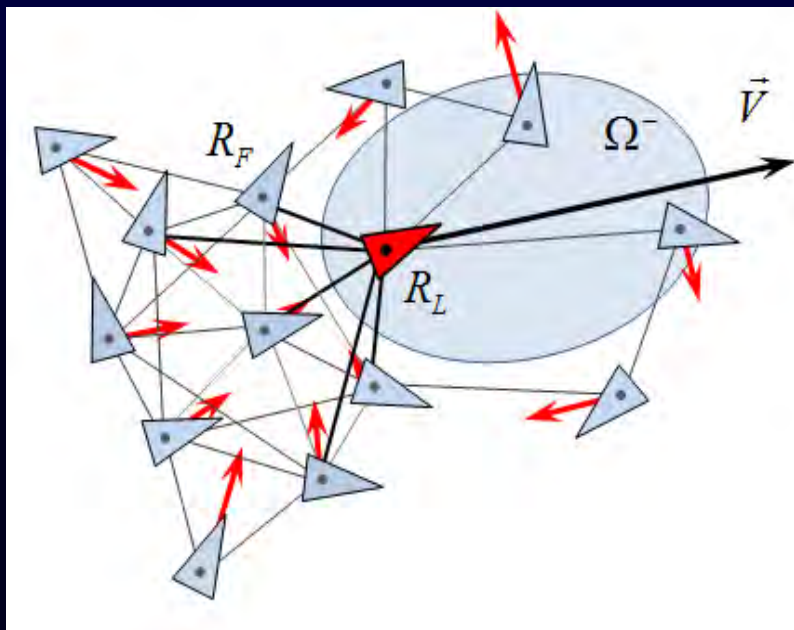


Алгоритмы некоторых стереотипов хорошо известны и применяются в системах наведения, навигации и управления динамическими аппаратами различного назначения, а также в поведении людей и других представителей живой природы

V_5 : «Следовать за лидером» и V_6 : «Перемещаться (бродить) случайным образом в заданном районе»

V_5

V_6

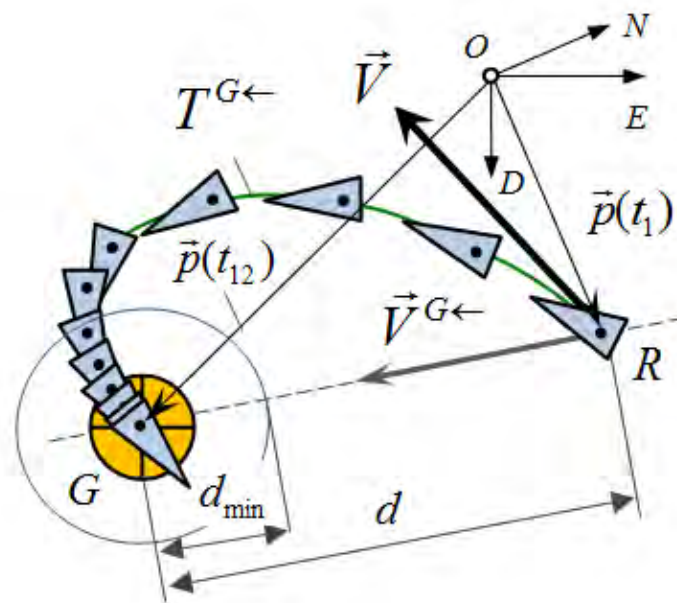
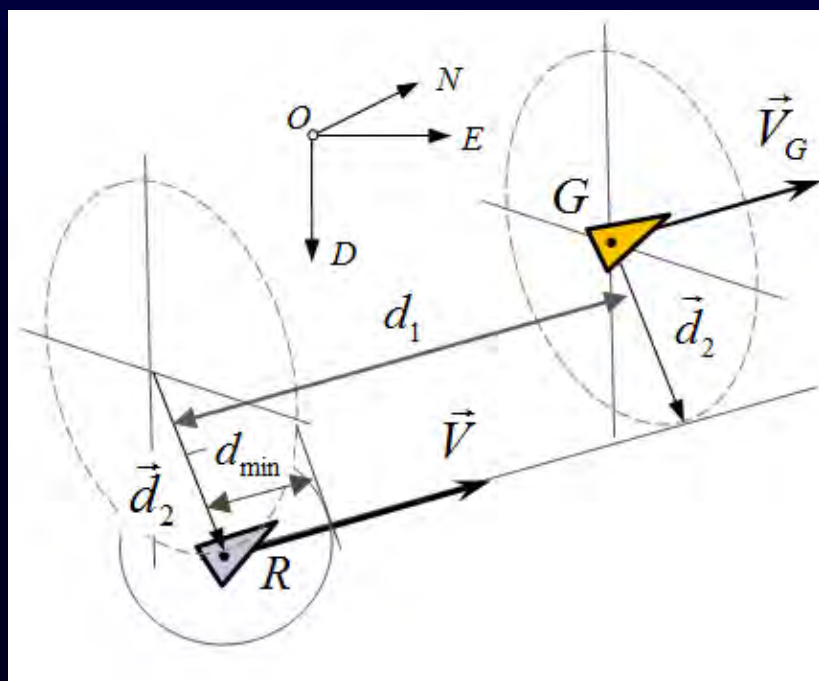


В стереотипе V_5 ведомые роботы должны освободить зону отталкивания для робота-лидера («вожака стаи»). В стереотипе V_6 заданные углы наклона траектории и пути, а также модуль скорости изменяются случайным образом

V_7 : «Сопровождать объект с заданным смещением»,
 V_8 : «Преследовать объект с заданным смещением»,
 V_9 : «Прибыть в заданную точку», V_{10} : «Причалить к заданной точке»

V_7, V_8

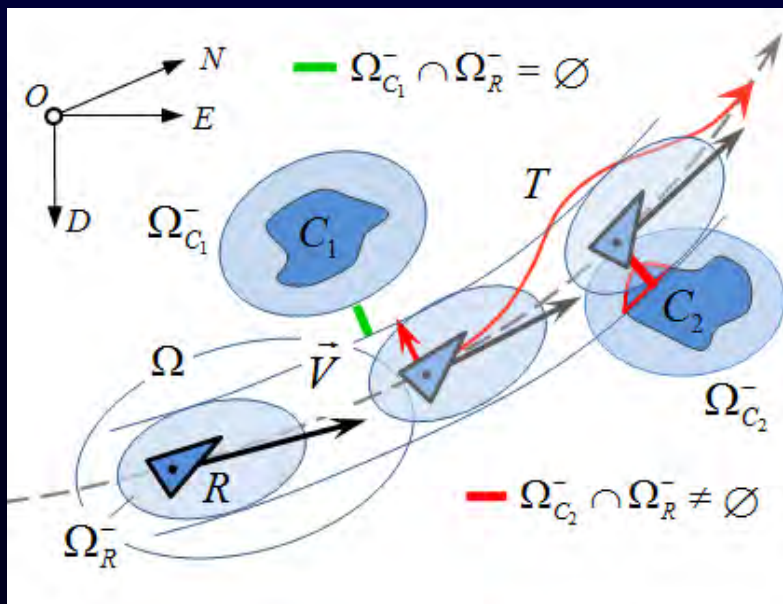
V_9, V_{10}



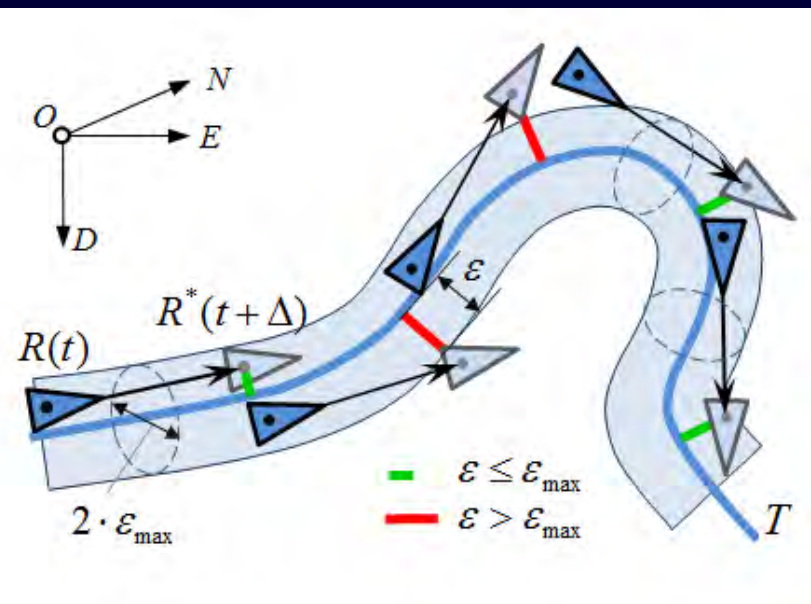
Работа стереотипов V_7, V_8 и V_9, V_{10} понятна из вышеприведенных схем.

B_{11} : «Избегать столкновений с препятствиями» и B_{12} : «Следовать по заданной траектории»

B_{11}

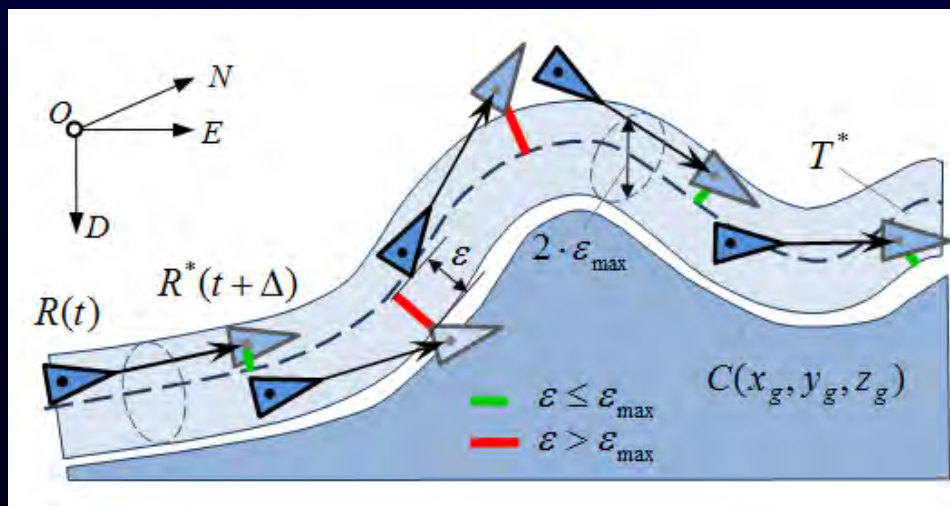


B_{12}

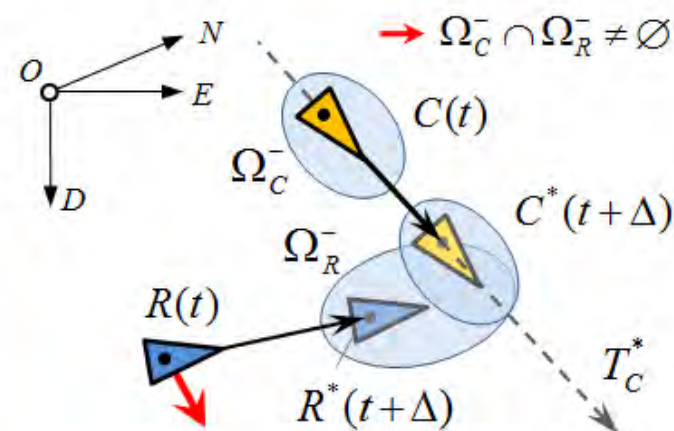


B_{13} : «Огибать рельеф местности», B_{14} : «Следовать вдоль стены» и B_{15} : «Избегать столкновения с подвижными объектами»

B_{13}, B_{14}



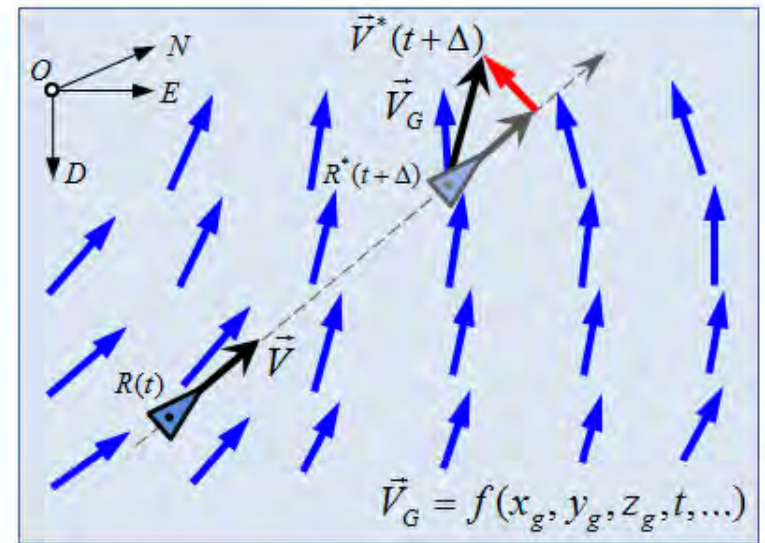
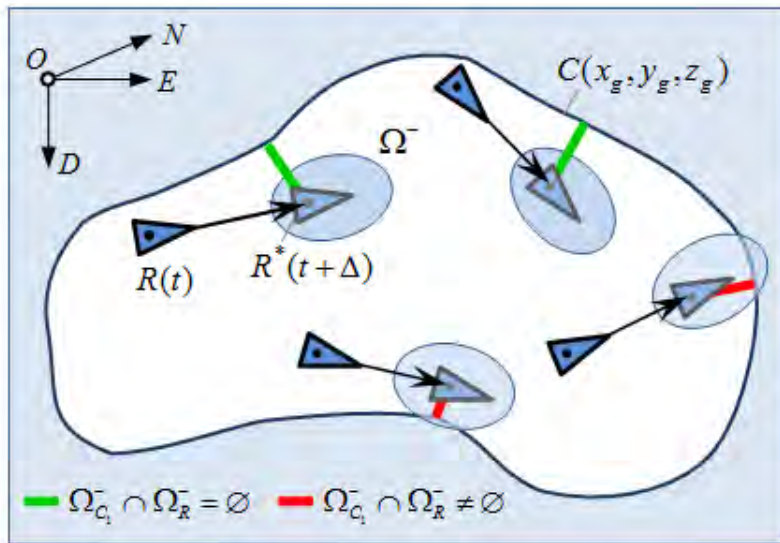
B_{15}



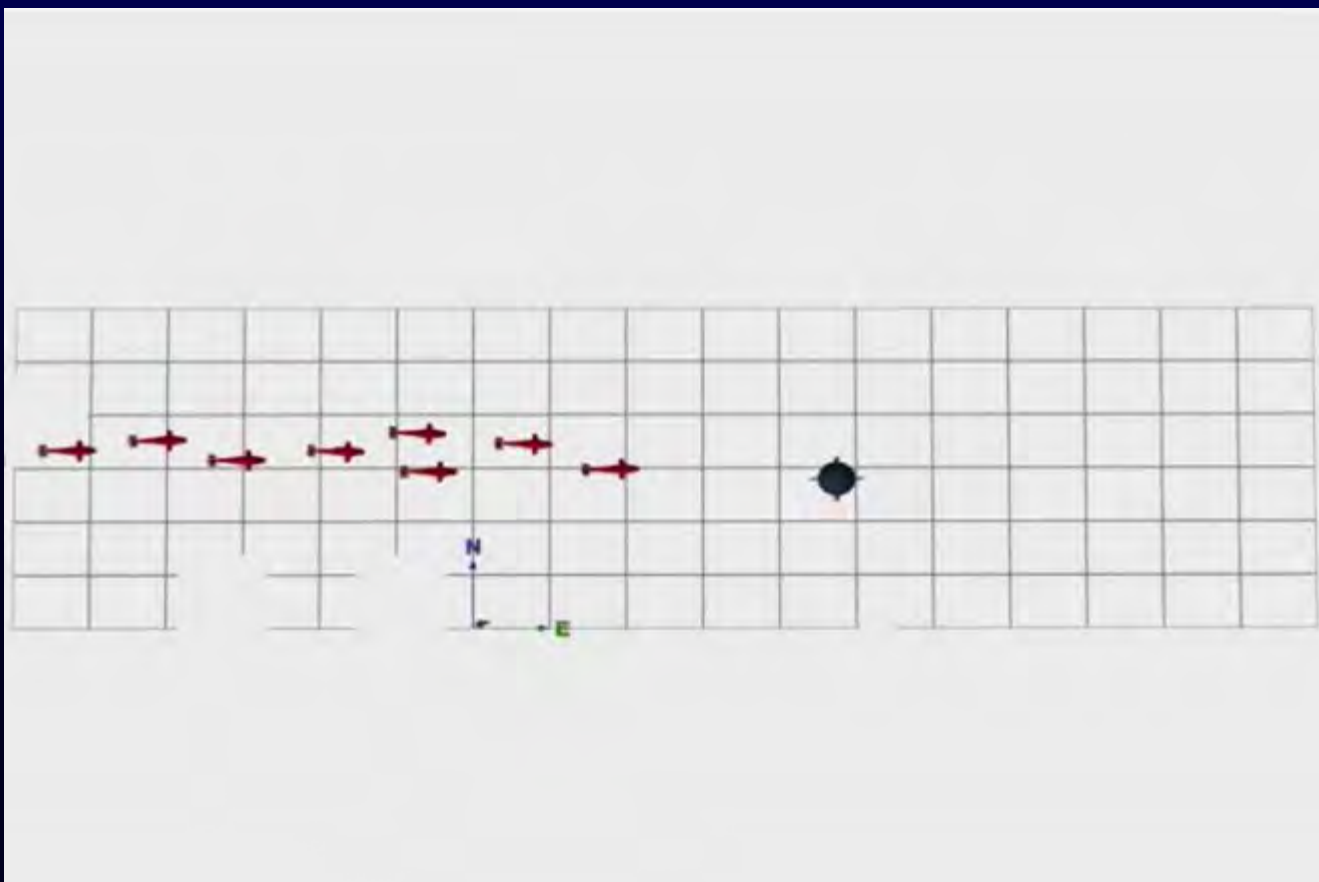
B_{16} : «Находиться в пределах заданной области» и B_{17} : «Следовать вдоль линий векторного поля»

B_{16}

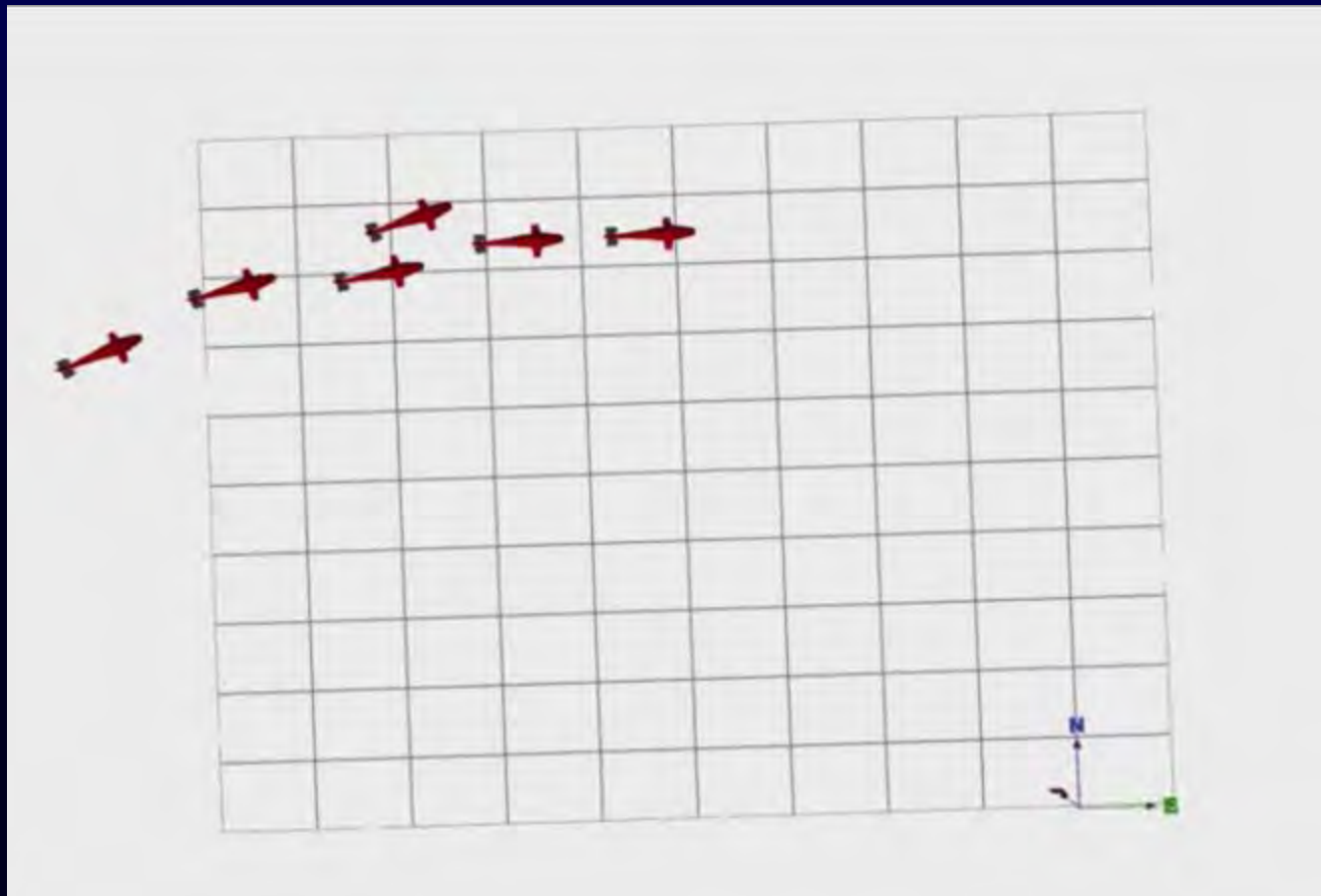
B_{17}



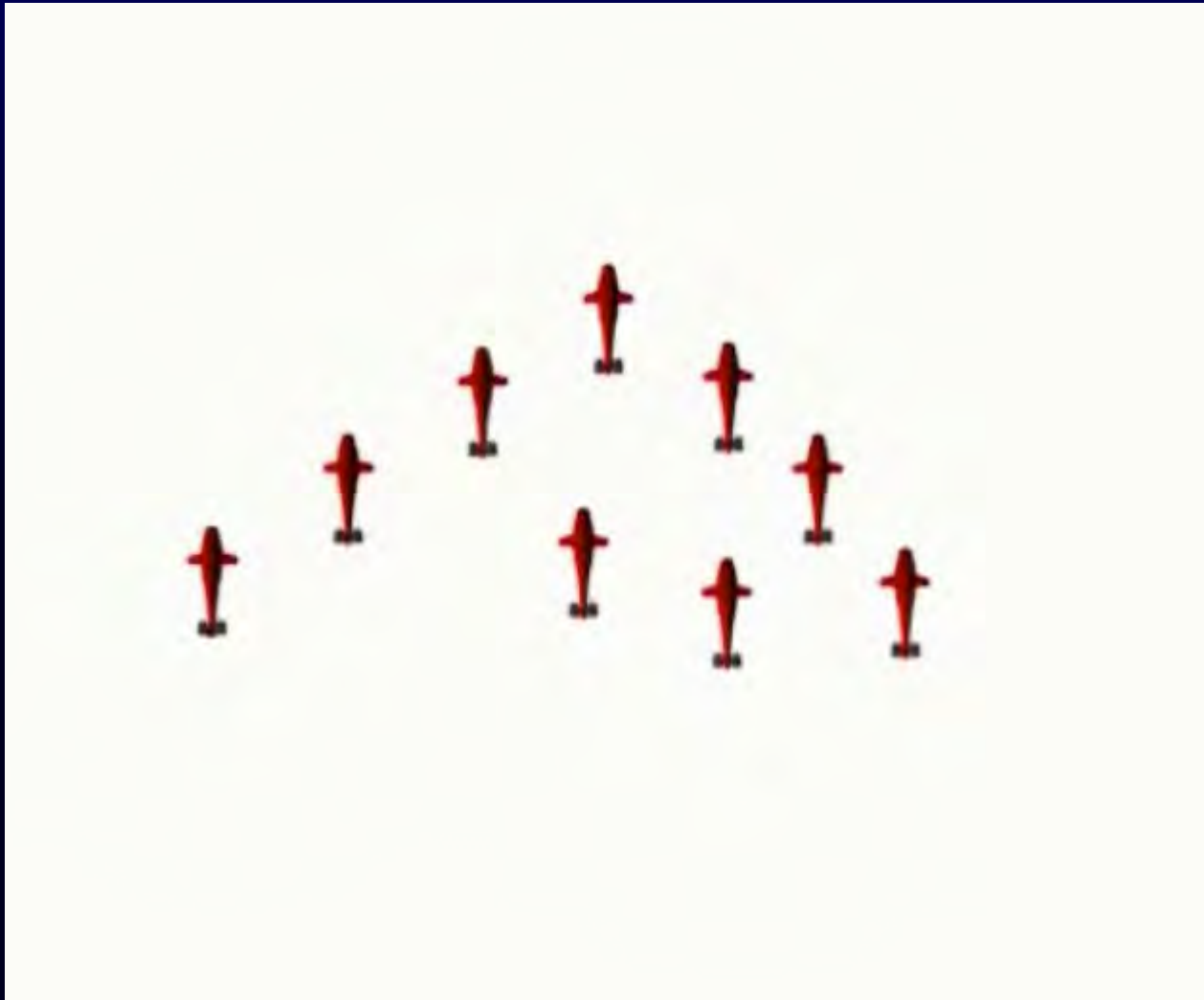
Демонстрация стереотипов B_5 : «Следовать за лидером» и B_{11} : «Избегать столкновений с препятствиями»



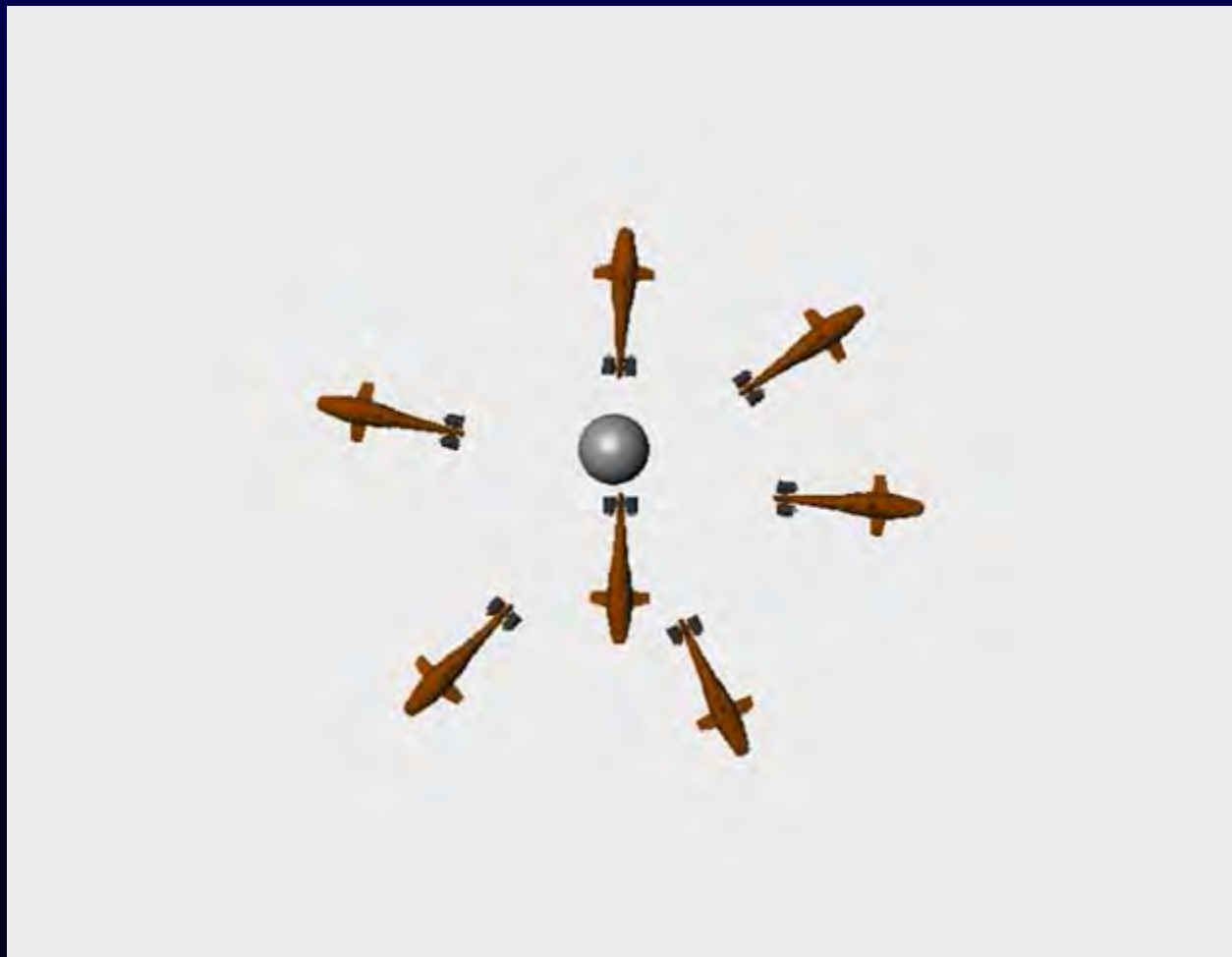
Демонстрация стереотипа B_{12} : «Следовать по заданной траектории»



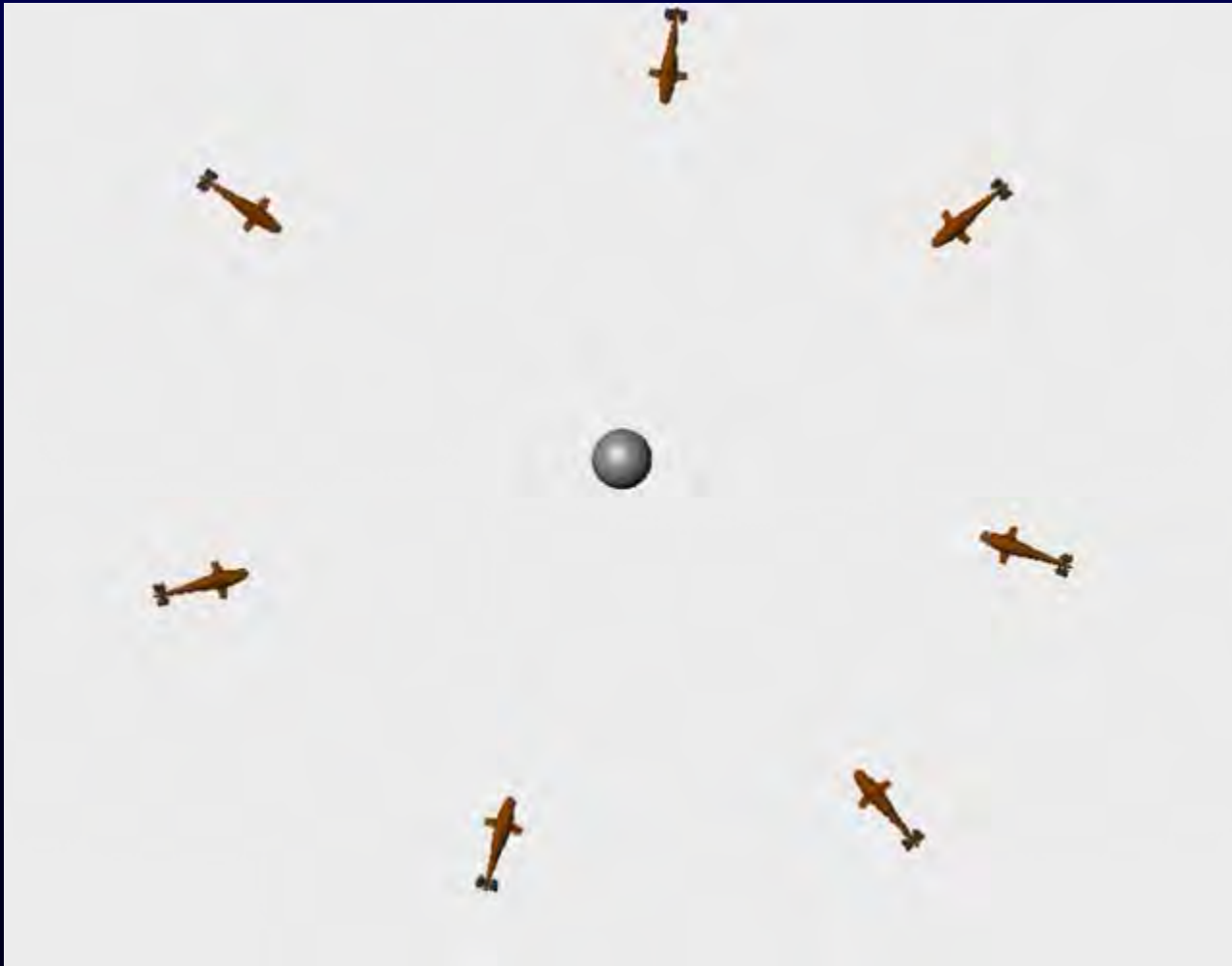
Демонстрация стереотипа В₃₉: «Сформировать заданный «порядок»»



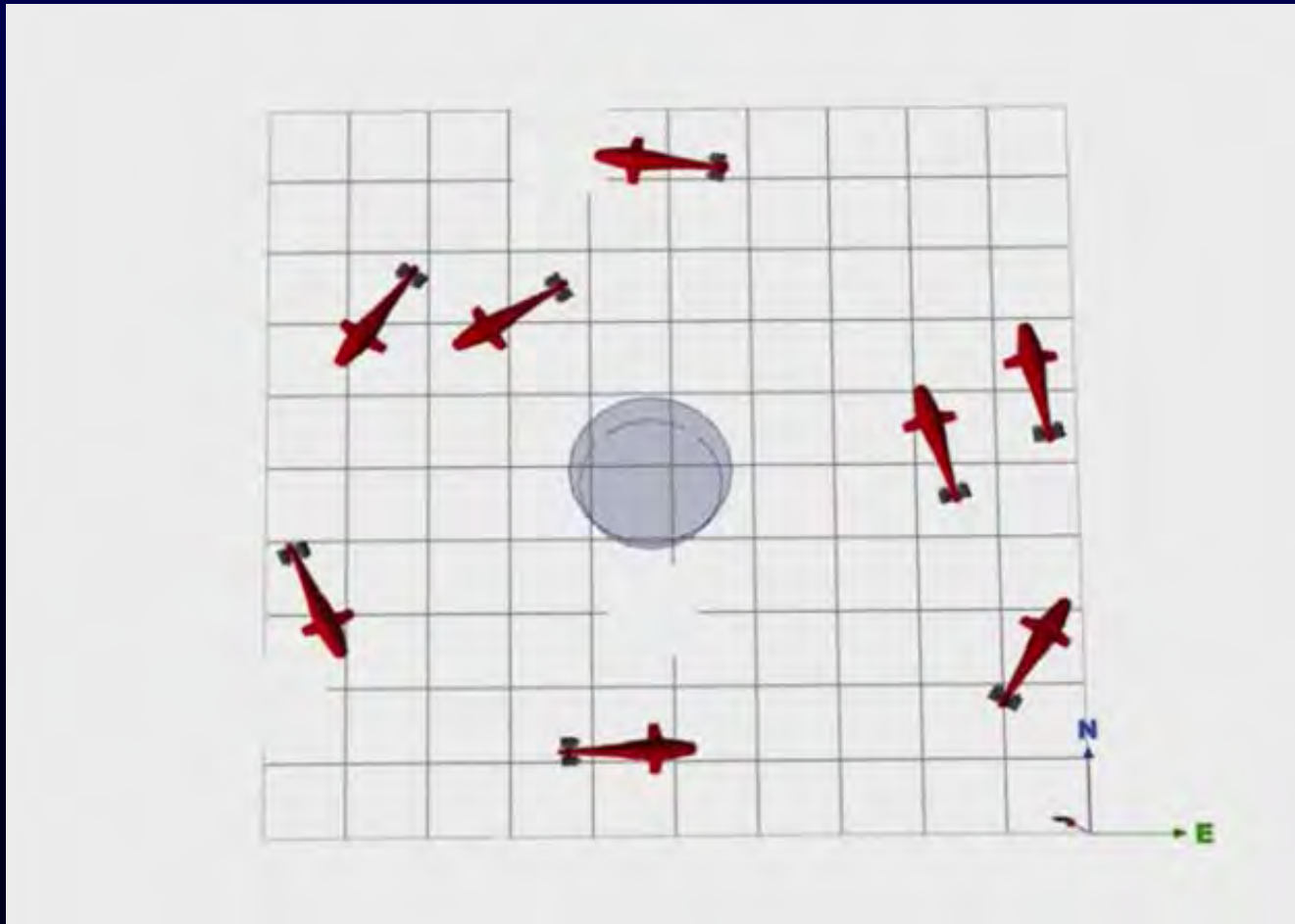
Демонстрация стереотипа B_2 : «Удалиться от объекта» или B_{33} : «Защитить объект»



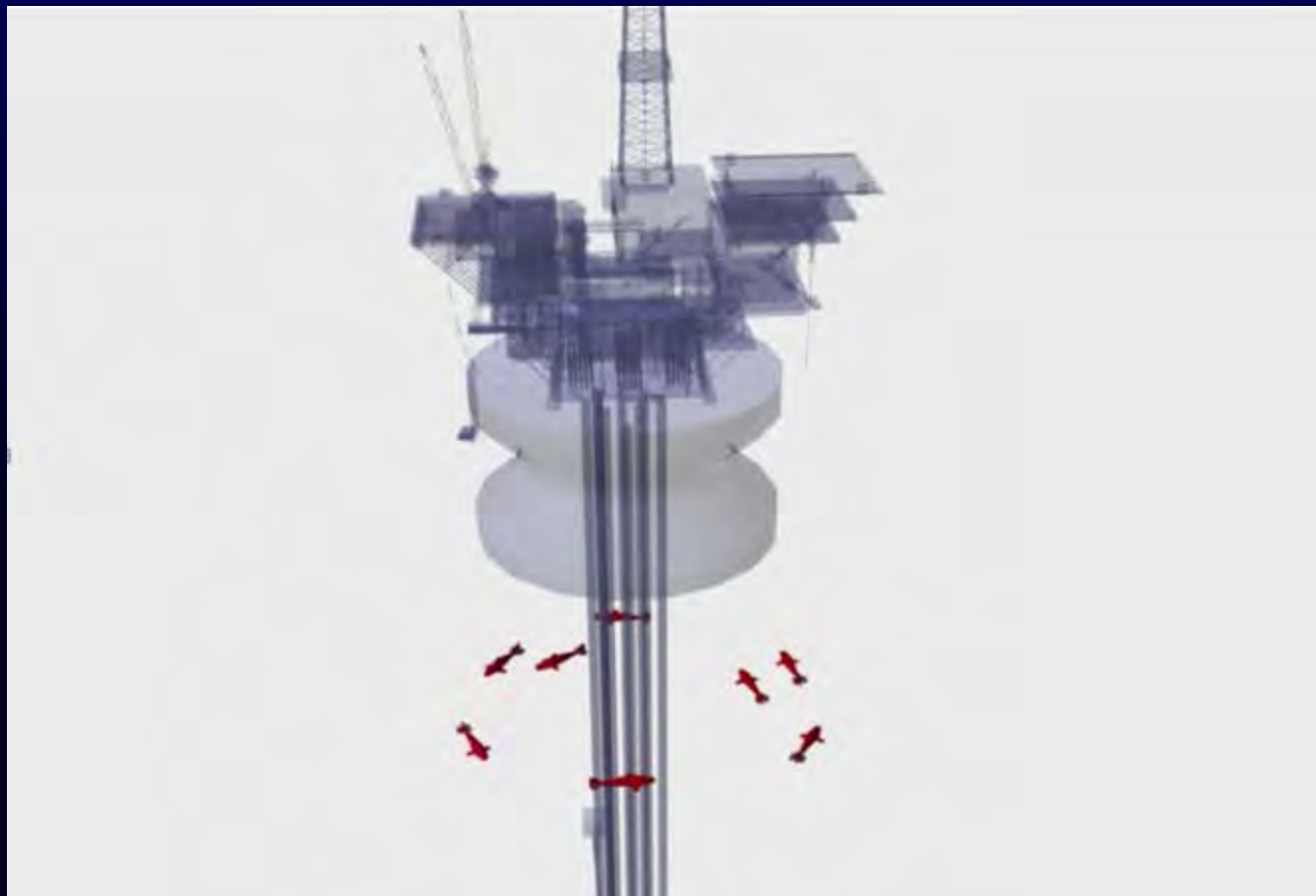
Демонстрация стереотипа V_9 : «Прибыть в заданную точку» или V_{29} : «Охранять (стеречь) объект (добычу)»



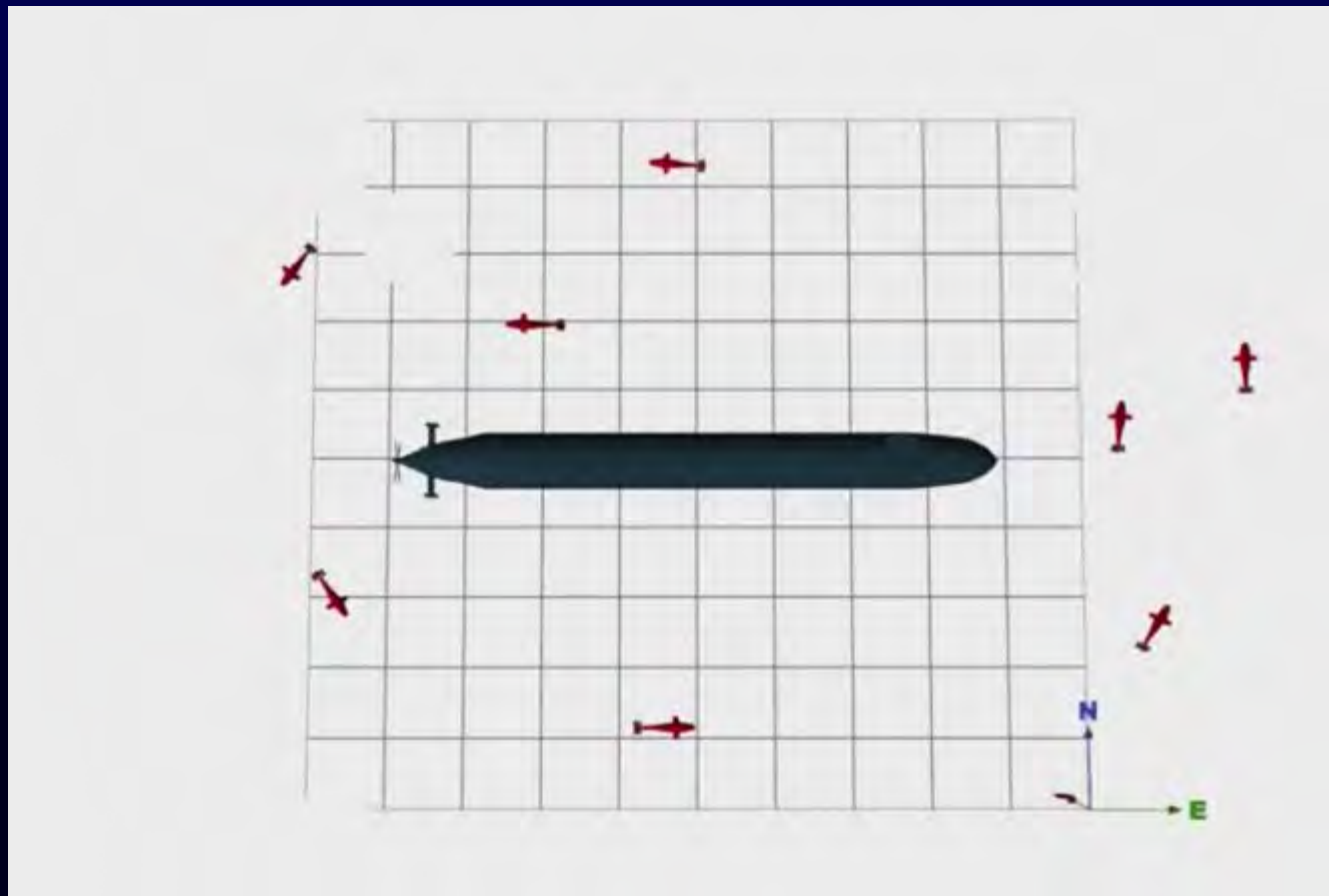
Демонстрация стереотипа В₂₈: «Охранять периметр»



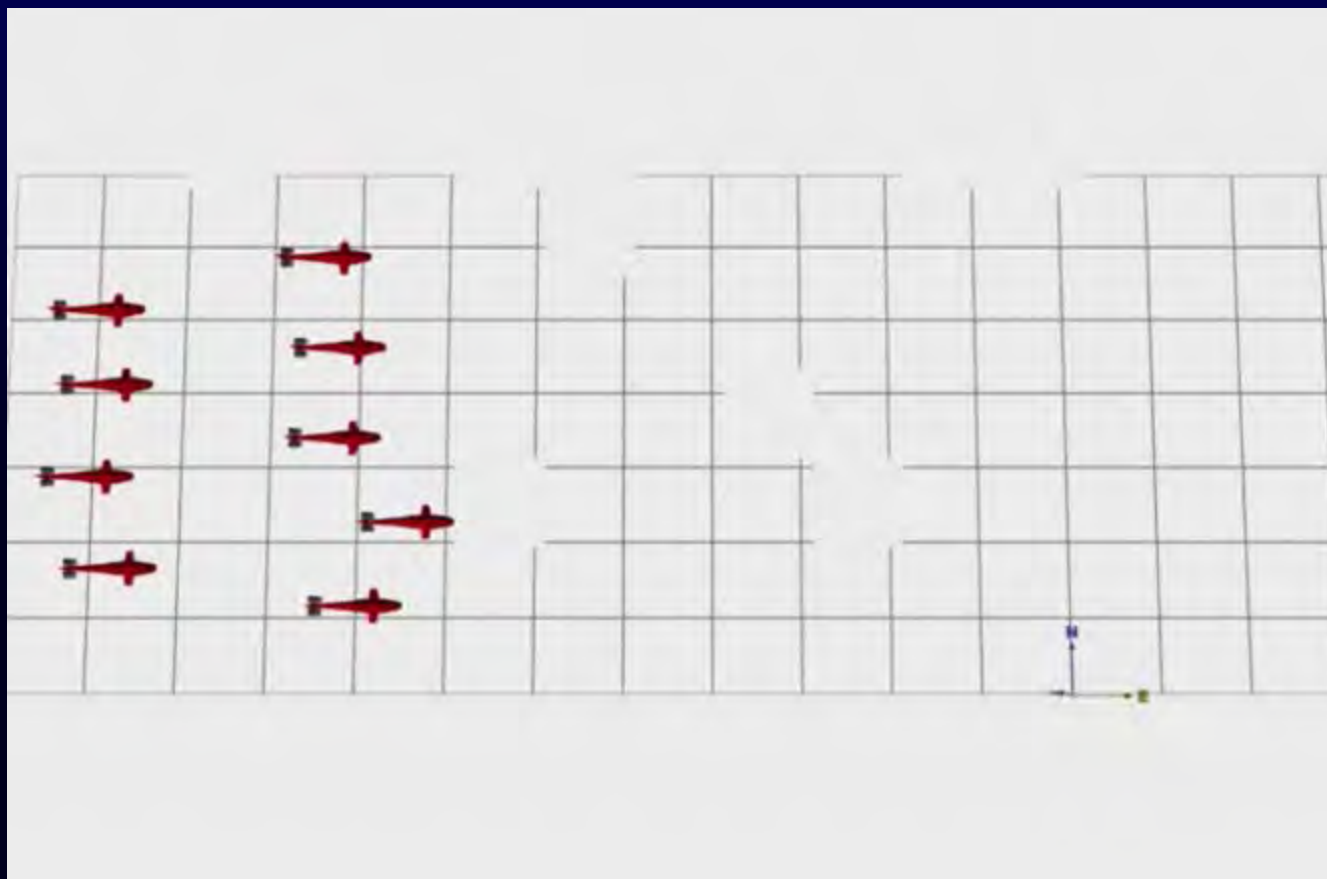
Демонстрация стереотипа В₂₈: «Охранять периметр» (ситуация №2)



Демонстрация стереотипа B_{28} : «Охранять периметр» (ситуация №3)



Демонстрация стереотипа В₃₈: «Двигаться в заданном направлении»



Демонстрация стереотипа V_{40} : «Создать детерминированный хаос» (плоский вариант)



Демонстрация стереотипа B_{40} : «Создать детерминированный хаос» (3D вариант)



Демонстрация стереотипа V_{17} : «Следовать вдоль линий векторного поля»



[К оглавлению
презентации](#)



Введение

- Стаи в природе
- Стаи в жизни homo sapiens
- Стайный «интеллект», роль стайного поведения

Модель самоорганизации движения «бойдов» К.Рейнольдса

- К. Рейнольдс – автор модели «бойдов»
- Локальное пространство робота
- Базовые принципы самоорганизации стаи
- Параметры стайной модели
- Библиотека стереотипов стайного поведения
- Примеры моделирования стайных стереотипов

Алгоритмы и программы моделирования виртуальных стай

- Примеры программ
- К построению обобщённой модели движения гетерогенной стаи роботов с шестью степенями свободы

Потенциал приложений модели

- Концепция гетерогенной робототехнической системы
- Примеры сценариев применения стайной робототехники
- Примеры имитационного моделирования гетерогенной робототехнической системы

Заключение

Реалистичные примеры имитации стайного поведения птиц и рыб в системе Blender (модель К. Рейнольдса)



Нажать здесь

**Охота виртуальной стаи
ворон за шаром при
наличии препятствий**

**Движение большой
стаи рыб**

Нажать здесь



Примеры программ-имитаторов поведения стайных систем на основе модели К.Рейнольдса

Плоское движение – программа-имитатор
MatFa's Boids 0.3 (автор: Mattias Fagerlund)

Нажать здесь  

Папка:
[2D Boids Swarming](#)

Пространственное движение – программа-имитатор
3DBoids (автор: Robert Platt)

Нажать здесь  

Папка:
[3D Boids/version 82](#)

Пространственное движение – программа-имитатор
Cool School (автор: David Hooper)

Нажать здесь  

Папка:
[3D Boids Swarming](#)

Пространственное движение – программа-имитатор
OpenSteer (автор: Craig Reynolds)

Нажать здесь  

Папка:
[OpenSteerDemo](#)

Примечание: если программа не запускается путём нажатия на голубой прямоугольник, то следует зайти в соответствующую папку и запустить программу (файл *.exe) повторно.

Типовые функции стайного робота обобщённого класса (UXV)



➔ Технологии, которые определяют эффективность реализации указанных функций, образуют набор **критических технологий**.

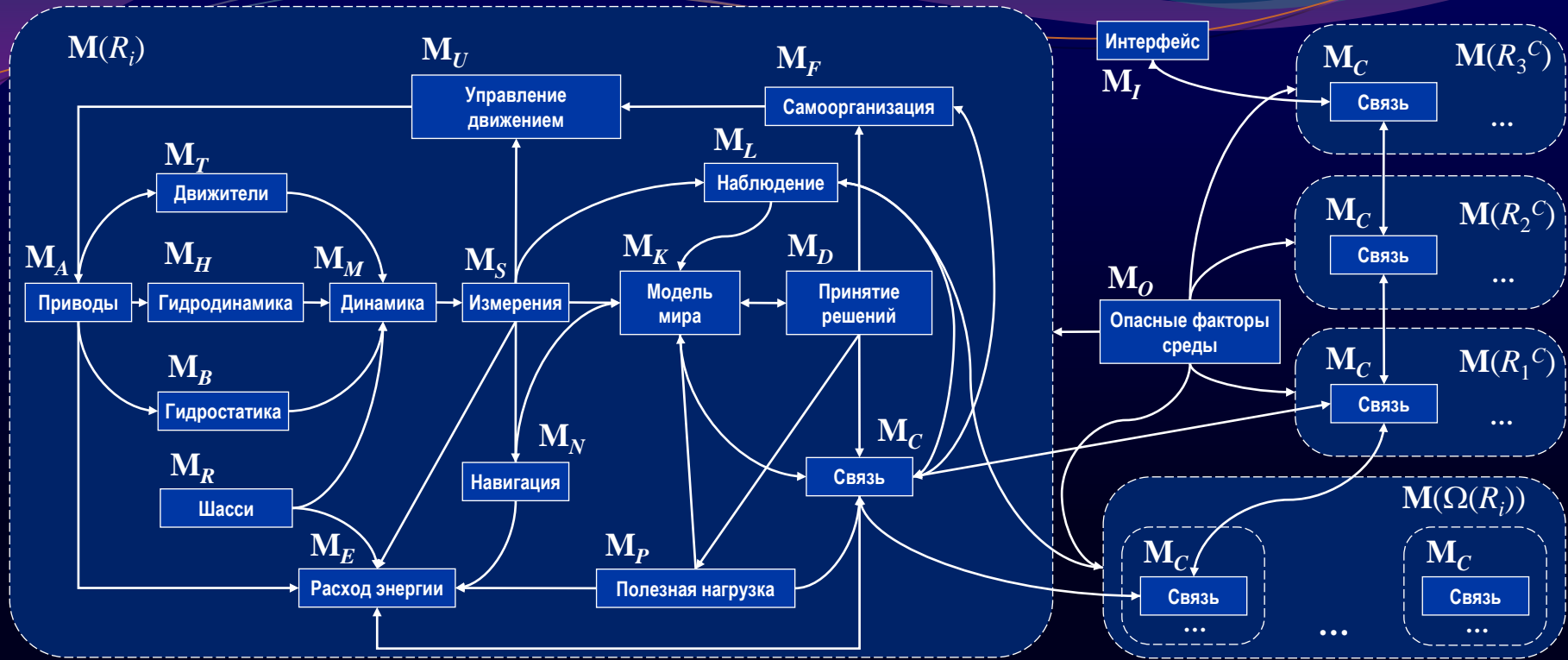
Алгоритмы обобщённой системной модели поведения стайного робота

№	Условное название	Моделируемые свойства робота
1	Аэро/гидродинамика	аэро/гидродинамика
2	Аэро/гидростатика	вес и аэро/гидростатика
3	Динамика	динамика и кинематика движения с шестью степенями свободы
4	Управление	управление пространственным движением
5	Наблюдение	наблюдение локального пространства
6	Измерения	функционирование датчиков (измерение параметров состояния)
7	Приводы	работа силовых приводов
8	Шасси	работа шасси (опорных устройств), других реакций связей
9	Двигатели	работа силовой установки (двигателей)
10	Полезная нагрузка	работа оборудования полезной нагрузки
11	Расход энергии	расходование бортового запаса энергии (топлива)
12	Навигация	навигация и наведение
13	Опасные факторы	эксплуатационная среда (погода, отказы оборудования, ошибки оператора)
14	Связь	связь (местный и удалённый информационный обмен) в стае
15	Модель мира	формирование единого информационного поля стаи
16	Принятие решений	принятие решений роботом, императивы поведения
17	Самоорганизация	самоорганизация движения, эмоции
18	Интерфейс	человеко-машинный интерфейс в системе «внешний оператор – стая»

Ключевая тематика НИОКР, успешность которых, вероятно, определит ключевых игроков на рынка мобильной робототехники к 2025-2030 гг.

В системной модели должны быть представлены те **физико-логические свойства и императивы поведения роботов и стаи** в целом, которые влияют на её **выходные характеристики**: эффективность (производительность), надёжность, безопасность.

Состав системной модели стаи роботов

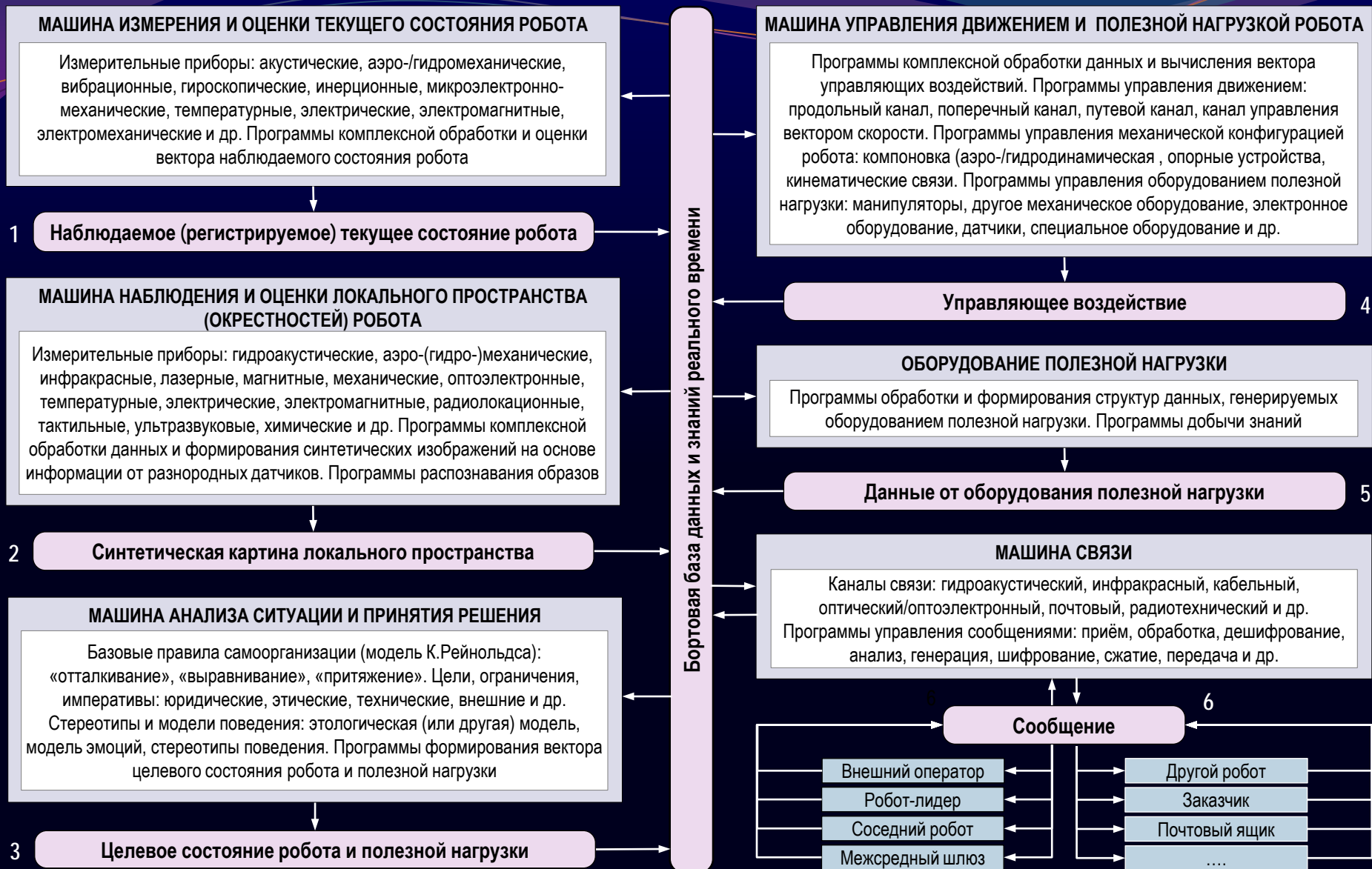


Legend: $M(R_i)$ – модель поведения робота R_i , $M(R_i) = \{ M_H, M_B, \dots, M_F \}$. $M(\Omega(R_i))$ – модель поведения роботов-соседей R_i из его локального пространства, $M(\Omega(R_i)) = \{ M(R_1), \dots, M(R_j), \dots, M(R_{N(\Omega(R_i))}) \}$, $i \neq j$. $M(R_1^C)$ – модель поведения подводного связанного робота R_1^C , одного или нескольких. $M(R_2^C)$ – модель поведения надводных и сухопутных связанных роботов R_2^C . $M(R_3^C)$ – модель поведения авиационных связанных роботов R_3^C .



Потоки обмена данными отражают **информационные связи различных уровней** внутри системной модели.

Структуры данных модели стайного робота



Примечание: показаны не все подсистемы, влияющие на информационный обмен.

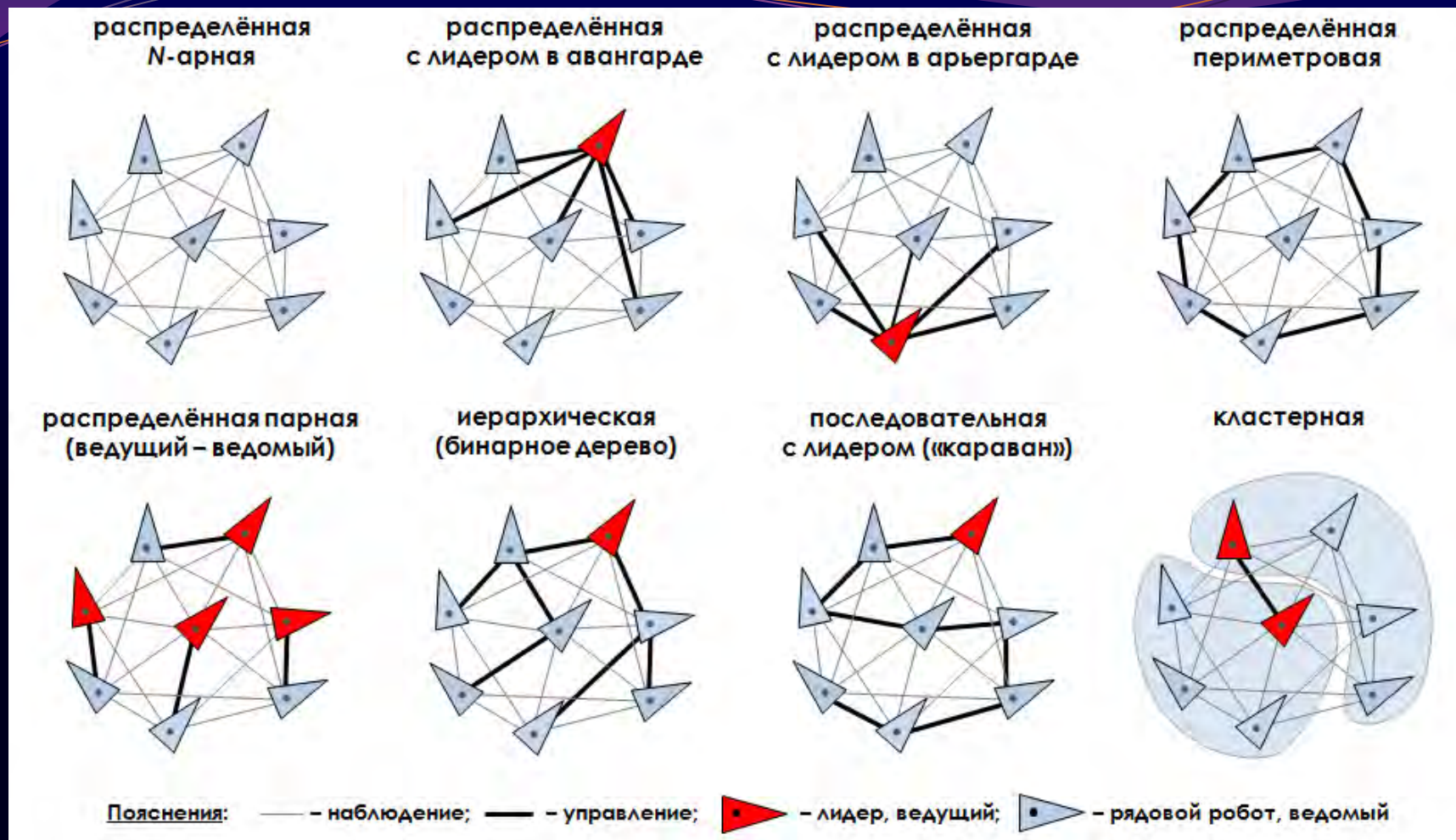
Алгоритм обобщённой системной модели стадного поведения робота

Нажать



Алгоритм
модели стадного
поведения робота

Варианты информационного обмена и архитектур ситуационного управления в стае роботов



Примечание: варианты даны для примера. Вопросы **организации обмена информацией и общения в стае роботов** – отдельная важная тема. Опять же, у природы здесь можно многому поучиться ...

[К оглавлению презентации](#)



Введение

- Стаи в природе
- Стаи в жизни homo sapiens
- Стайный «интеллект», роль стайного поведения

Модель самоорганизации движения «бойдов» К.Рейнольдса

- К. Рейнольдс – автор модели «бойдов»
- Локальное пространство робота
- Базовые принципы самоорганизации стаи
- Параметры стайной модели
- Библиотека стереотипов стайного поведения
- Примеры моделирования стайных стереотипов

Алгоритмы и программы моделирования виртуальных стай

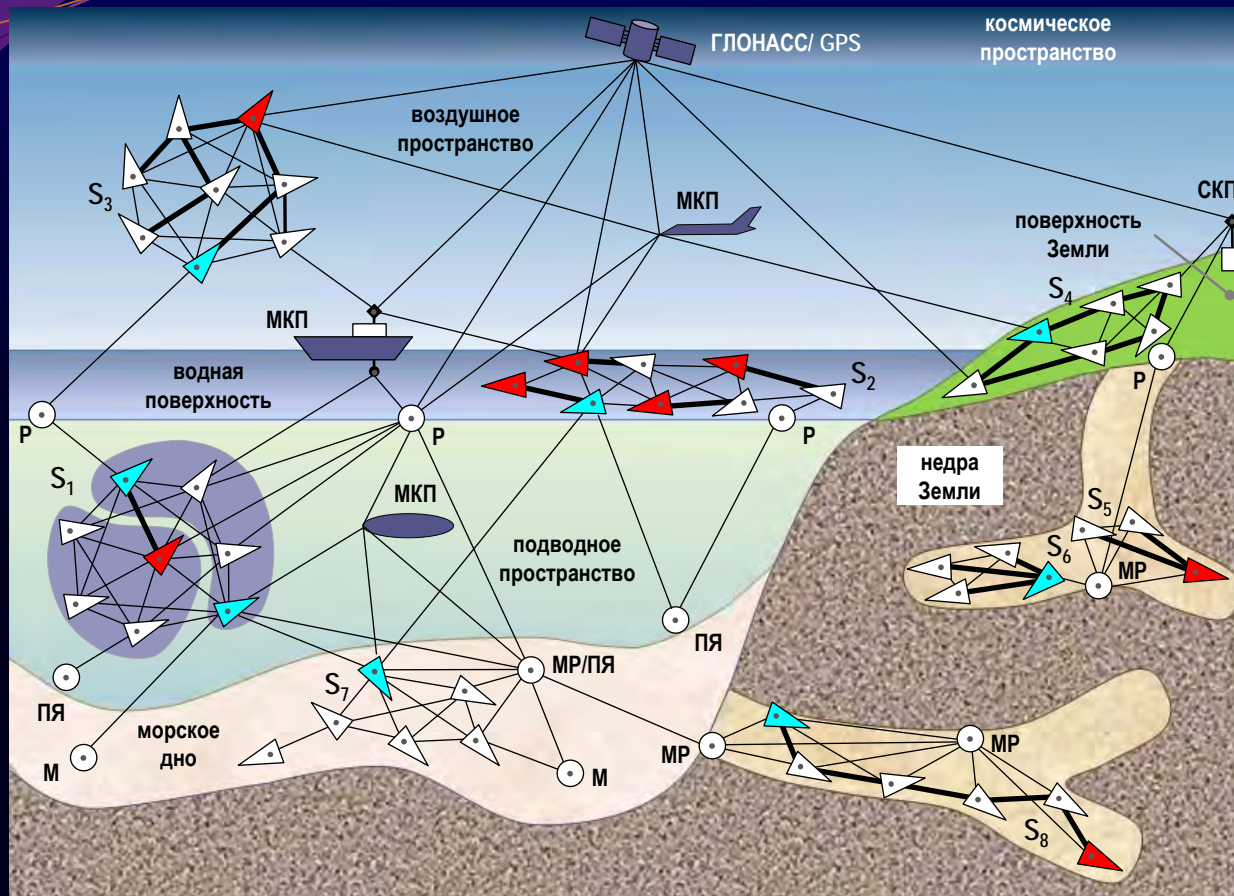
- Примеры программ
- К построению обобщённой модели движения гетерогенной стаи роботов с шестью степенями свободы

Потенциал приложений модели

- Концепция гетерогенных робототехнических систем
- Примеры сценариев применения стайной робототехники
- Примеры имитационного моделирования гетерогенной робототехнической системы

Заключение

Концепция гетерогенных систем мобильных роботов стадного применения



Пояснения: БхА (UXV) – бесператорный аппарат класса x , $x \in \{П, Н, Д, С, Л, К, З\}$, где П – подводный (БПА или UUV), Н – надводный (БНА или USV), Д – донный (БДА или UBV), Л – летательный (БЛА или UAV), С – сухопутный (БСА или UGV), К – космический (БКА или UOV), З – подземный (БЗА или UDV). Примеры классов стай роботов и архитектур ситуационного управления в стае: S₁ – стая БПА (кластерная), S₂ – стая БНА (распределённая парная), S₃ – стая БЛА (иерархическая – бинарное (n -арное) сбалансированное дерево), S₄ – стая БСА (распределённая периметровая), S₅, S₆ – стай БЗА (распределённая с лидером в авангарде и арьергарде, соответственно), S₇ – стая БДА (распределённая n -арная), S₈ – стая БЗА (последовательная с лидером – «караван»). ПЯ – «почтовый ящик», МР – маяк (и/или) ретранслятор, М – маяк, Р – межсредный ретранслятор, МКП (СКП) – мобильный (стационарный) командный пункт (внешний оператор, заказчик). — – наблюдение, передача данных; — — управление; ▲ – лидер, ведущий; ▲ – связной робот; ▲ – рядовой робот, ведомый.

➔ Многосредные (как многофункциональные, так и специализированные) робототехнические мобильно-сетевые комплексы, обладающие **переменной степенью автономности** и **взаимодействующие** с человеко-машинными системами и людьми, являются, по нашей оценке, наиболее перспективными.

Примеры сценариев применения адаптивных гетерогенных систем мобильной робототехники

1. Поиск и наблюдение объектов под водой в сложных условиях (класс I)
2. Обследование протяжённого подводного объекта (класс I)
3. Транспортировка и прецизионная установка донных станций (класс III)
4. Защита плавучей АЭС от атаки подводных террористов (класс VI)
5. Защита морской нефтедобывающей платформы от попыток разведки со стороны конкурентов (класс IV)
6. Сопровождение атомного ледокола и каравана судов в условиях сложной подводной обстановки (класс IV)

Внимание!

Приводимые ниже **примеры иллюстрируют базовые принципы** функционирования мобильных гетерогенных систем робототехники гражданского и специального назначения при выполнении основных задач.

Демонстрируемые **сценарии угроз** и тактики применения мобильных робототехнических систем **являются условными, а ситуации – гипотетическими.**

Примеры служат исключительно для пояснения метода построения и потенциала использования адаптивных систем робототехники стайного поведения.

Реальные сценарии угроз, а также способы их упреждения и нейтрализации **могут значительно отличаться** от представленных упрощённых вариантов.



Сценарий 1. Поиск и наблюдение объектов под водой в сложных условиях (класс I)



Паспорт задачи

Сценарий

Поиск и наблюдение объектов под водой в сложных условиях

Объект работы

Заданный участок морского дна, затонувшая плавучая станция-ретранслятор

Система роботов

Подводные «роботы - разведчики» (6), «робот – грузовик» (1). Гибридный пилотируемый-беспилотный транспортный летательный аппарат (1)

База

Атомный ледокол

Задание на работу

Обследовать заданный участок рельефа дна. Найти затонувшую станцию-ретранслятор. Поднять и доставить предмет поиска на базу

Стереотипы группового поведения

«Рассредоточиться в заданном районе», «Держать дистанцию», «Бродить», «Искать предмет», «Огибать рельеф», «Обходить препятствия», «Собраться», «Двигаться со смещением», «Припарковаться» и др.

АНИМАЦИЯ



Сценарий 2. Обследование протяжённого подводного объекта (класс II)



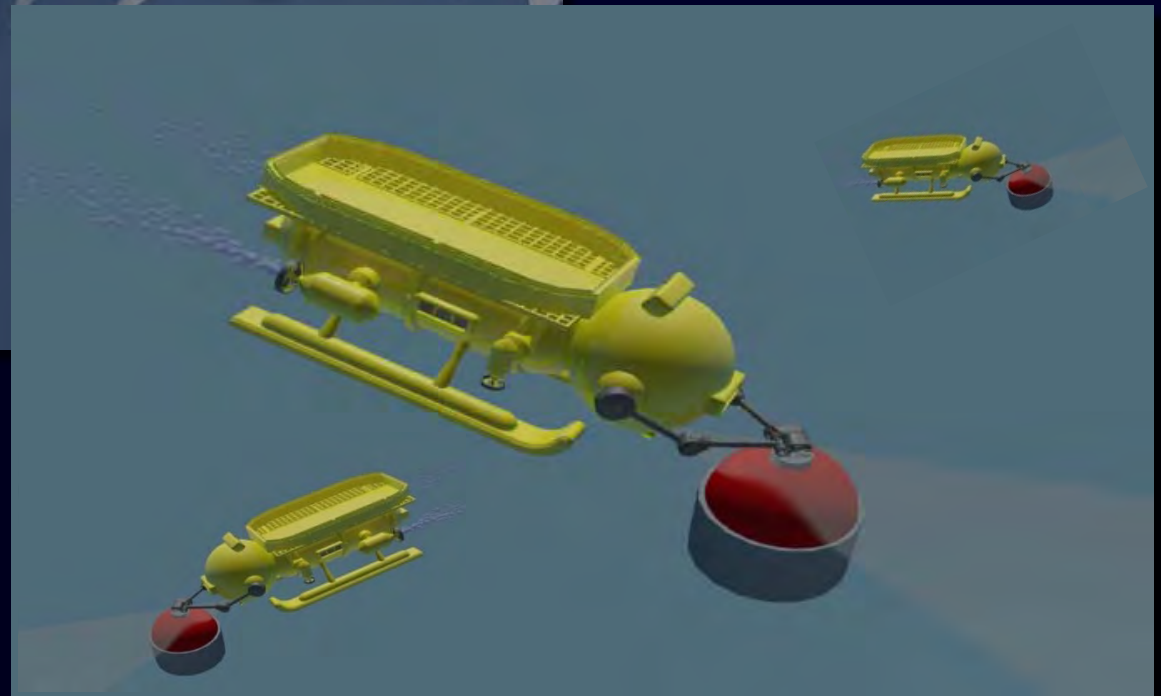
Паспорт задачи

Сценарий	Обследование протяжённого подводного объекта
Объект работы	Протяжённый объект (подводный нефтепровод или газопровод)
Система роботов	Две пары подводных «роботов – разведчиков» (2+2 посменно). Гибридный транспортный летательный аппарат (1)
База	Атомный ледокол
Задание на работу	Обследовать объект. Найти места повреждений объекта или посторонние предметы у объекта. В процессе обследования формировать и передавать на базу фото- и видеоотчёт. Определить и передать координаты обнаруженных мест повреждений.
Стереотипы группового поведения	«Найти объект», «Двигаться со смещением вдоль объекта», «Держать дистанцию», «Искать предмет», «Огибать рельеф», «Обходить препятствия», «Собраться», «Припарковаться» и др.

АНИМАЦИЯ



Сценарий 3. Транспортировка и прецизионная установка донных станций (класс III)



Паспорт задачи

Сценарий

Транспортировка сейсмических измерительных станций под водой и прецизионная установка их на дно

Объект работы

Партия глубоководных донных станций для сейсмических измерений

Система роботов

Подводные «роботы - грузовики» (5). Гибридный пилотируемый-беспилотный транспортный летательный аппарат – ГЛА (1)

База

Судно ледового класса

Задание на работу

Переместить и установить глубоководные донные станции в узлах сети сейсмических измерений с заданными координатами. В процессе установки формировать и передавать на базу фото- и видеоотчёт. Определить и передать точные координаты станций после установки.

Стереотипы группового поведения

«Найти точку по заданным координатам», «Взять объект», «Переместить объект в заданную точку», «Установить объект со смещением», «Огибать рельеф», «Обходить препятствия», «Собраться», «Припарковаться» и др.

АНИМАЦИЯ



Сценарий 4. Защита плавучей АЭС от атаки подводных террористов (класс VI)



Паспорт задачи

Сценарий

Защита плавучей АЭС от атаки подводных террористов

Объект работы

Подводное и надводное пространство вокруг АЭС

Система роботов

Группа подводных «роботов - разведчиков» (8), надводные катера-роботы (8). Гибридный пилотируемый-беспилотный транспортный летательный аппарат – ГЛА (1)

База

Плавучая АЭС, береговая площадка для ГЛА

Задание на работу

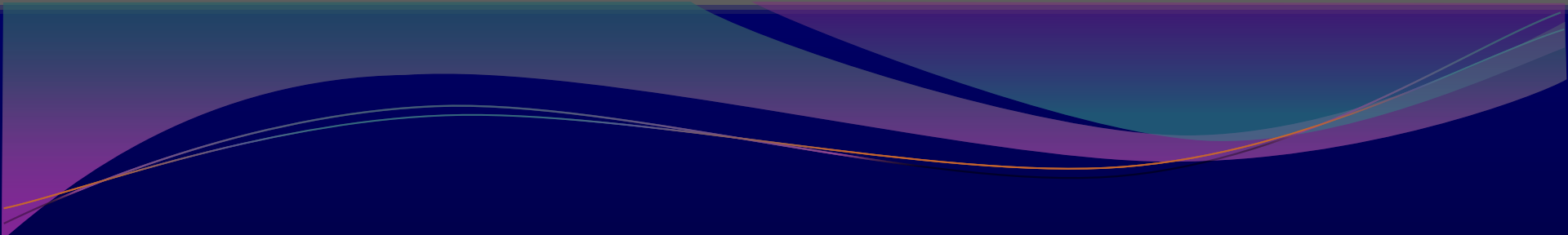
По данным стационарной сети дальнего обнаружения перехватить на входе в бухту группу нарушителей подводного пространства. Блокировать продвижение группы к плавучей АЭС. При попытке прорыва – обездвигить спецсредствами нелетального действия. Охранять нарушителей до подхода группы захвата.

Стереотипы группового поведения

«Охранять территорию прайда», «Защищать прайд», «Охотиться», «Самопожертвовать», «Стеречь добычу» и др.

АНИМАЦИЯ





Сценарий

Защита морской нефтедобывающей платформы от попыток разведки со стороны конкурентов

Объект работы

Подводное и надводное пространство вокруг платформы

Система роботов

Подводные «роботы - разведчики» (8), надводные катера-роботы (8). Гибридный пилотируемый-беспилотный транспортный летательный аппарат (1)

База

Морская нефтедобывающая платформа в Арктике

Выполнять патрулирование подводного и надводного пространства вблизи платформы на предмет поиска и обнаружения чужих объектов – подвижных и стационарных. При обнаружении – перехватить нарушителя на подходе к

АНИМАЦИЯ



Сценарий 6. Сопровождение атомного ледокола в условиях сложной подводной обстановки (класс IV)



Паспорт задачи

Сценарий

Сопровождение атомного ледокола и каравана судов в условиях сложной подводной обстановки

Объект работы

Подводное пространство вокруг каравана судов в движении

Система роботов

Группа подводных «роботов - разведчиков» (8). Гибридный пилотируемый-беспилотный транспортный летательный аппарат (1)

База

Атомный ледокол

Задание на работу

Вести разведку подводного пространства по периметру и впереди по курсу движения ледокола и каравана судов. Искать опасные для судоходства предметы. Формировать и передавать на базу видеоотчёт о подводной обстановке в реальном времени. Идентифицировать и (при получении санкции) уничтожать предметы, создающие прямую угрозу безопасности судоходства.

Стереотипы группового поведения

«Охранять территорию прайда», «Защищать прайд», «Наблюдать», «Искать», «Самопожертвовать» и др.

Анимация



[К оглавлению
презентации](#)



Введение

- Стаи в природе
- Стаи в жизни homo sapiens
- Стайный «интеллект», роль стайного поведения

Модель самоорганизации движения «бойдов» К.Рейнольдса

- К. Рейнольдс – автор модели «бойдов»
- Локальное пространство робота
- Базовые принципы самоорганизации стаи
- Параметры стайной модели
- Библиотека стереотипов стайного поведения
- Примеры моделирования стайных стереотипов

Алгоритмы и программы моделирования виртуальных стай

- Примеры программ
- К построению обобщённой модели движения гетерогенной стаи роботов с шестью степенями свободы

Потенциал приложений модели

- Концепция гетерогенной робототехнической системы
- Примеры сценариев применения стайной робототехники
- Примеры имитационного моделирование гетерогенной робототехнической системы

Заключение

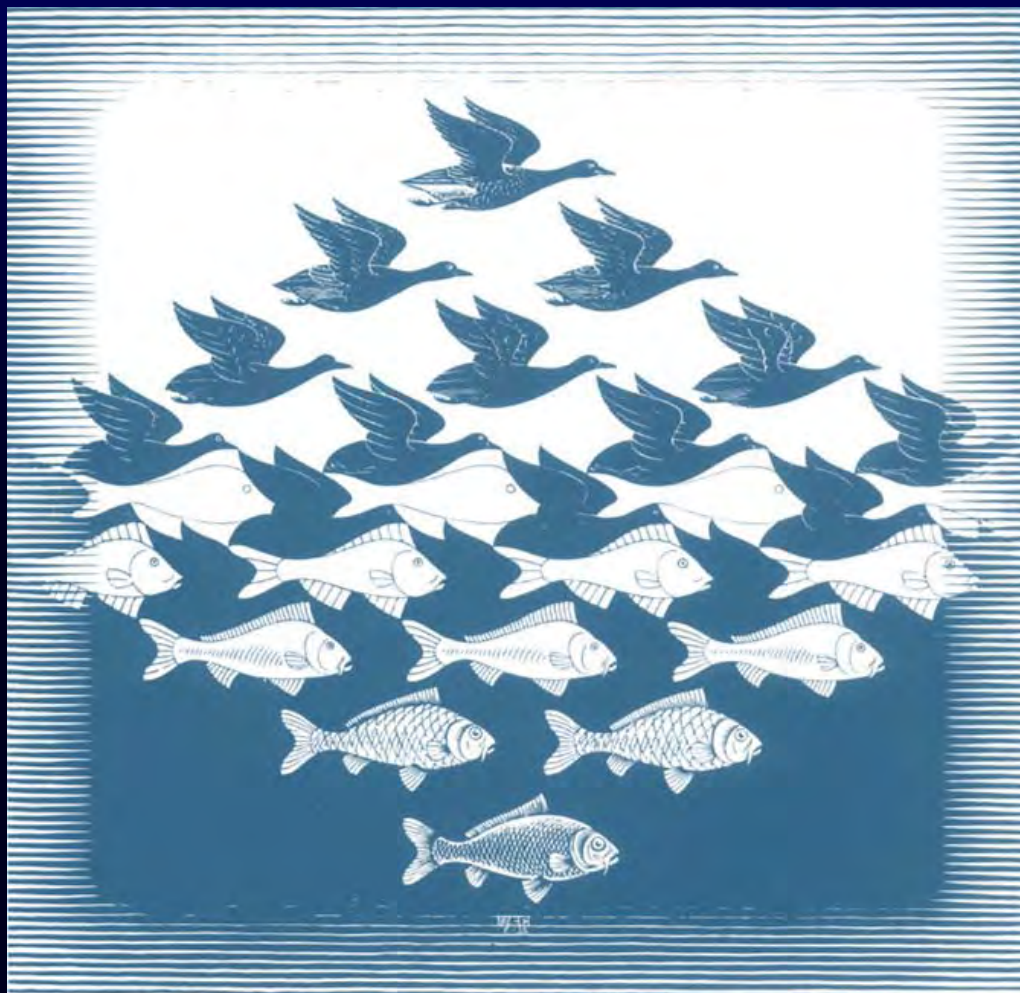
Заключение (1 из 2)

1. Самоорганизация коллективного поведения мобильных роботов может быть основана на **принципах этологии (зоопсихологии), заимствованных у природы**. Модель К. Рейнольдса позволяет изучать свойства поведения стай роботов на ЭВМ - наглядно и эффективно.
2. Целенаправленное, **внешне «интеллектуальное» поведение** стаи **формируется спонтанно**, в результате **суперпозиции актов местного взаимодействия роботов, реакции роботов на изменения** в локальном пространстве, команд внешнего оператора.
3. Адаптивные робототехнические системы, реализующие этологическую модель, способны **автономно и гибко изменять параметры движения** – в зависимости от выполняемой работы, условий внешней среды, технического состояния роботов – **с минимальными затратами ресурсов**: связи, внешнего и внутреннего управления, энергии и др.
4. Стайный принцип применения мобильной робототехники представляется полезным для обеспечения **надёжности («робастности»), эффективности и безопасности** выполнения гражданских и специальных задач в сложных и не известных заранее условиях реальной эксплуатационной среды.

Заключение (2 из 2)

5. Наибольший полезный эффект следует ожидать, однако, при использовании самоорганизующихся групп роботов (стай, роев, кластеров, порядков, отрядов и т.п.) с **переменной** - по времени и функциям управления - **степенью автономности**: от дистанционного управления и до полностью автономного поведения.
6. **Возможности и пределы** применения стайной робототехники в настоящее время определяются уровнем характеристик бортовых **датчиков, систем связи, навигации, управления, энергообеспечения**.
7. Второе научно-технологическое направление, которое является критически важным для обеспечения прорыва в области стайной робототехники, – это **имитационное моделирование, искусственный интеллект и виртуальное прототипирование**. Эти методы позволяют ускорить и удешевить процессы создания и испытаний образцов мобильной робототехники различных классов и назначения.
8. Целесообразно **усилить межотраслевую координацию** в сфере НИОКР, обмена информацией и подготовки кадров. Учитывая остроту проблемы «география - демография», следует создать условия для бизнеса **с целью ускоренного развития рынка** гражданских и специальных приложений стайной робототехники.

Благодарим за внимание. Вопросы, пожалуйста...



Источник: <http://www.liveinternet.ru/users/5389533/post370329196/>

[К оглавлению
презентации](#)

