



Концептуальные подходы к созданию перспективных космических систем

А.А.Романов, д.т.н., профессор

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

Доклад на семинаре "Перспективные компьютерные системы: устройства, методы и концепции", Таруса, 3 марта 2011 г.



Содержание доклада



1. Малоразмерные спутники – это прорывная технология, которая меняет мировую экономику космической деятельности
2. Информационный сетевой обмен в космосе – путь к виртуальному космическому аппарату
3. e-CORSE – новый подход к получению данных ДЗЗ



Иерархия размерного ряда спутников



= f (масса + время + цена + полезность)

	Масса	Цена	Время
Большие	1000кг++	€300М+	10лет+

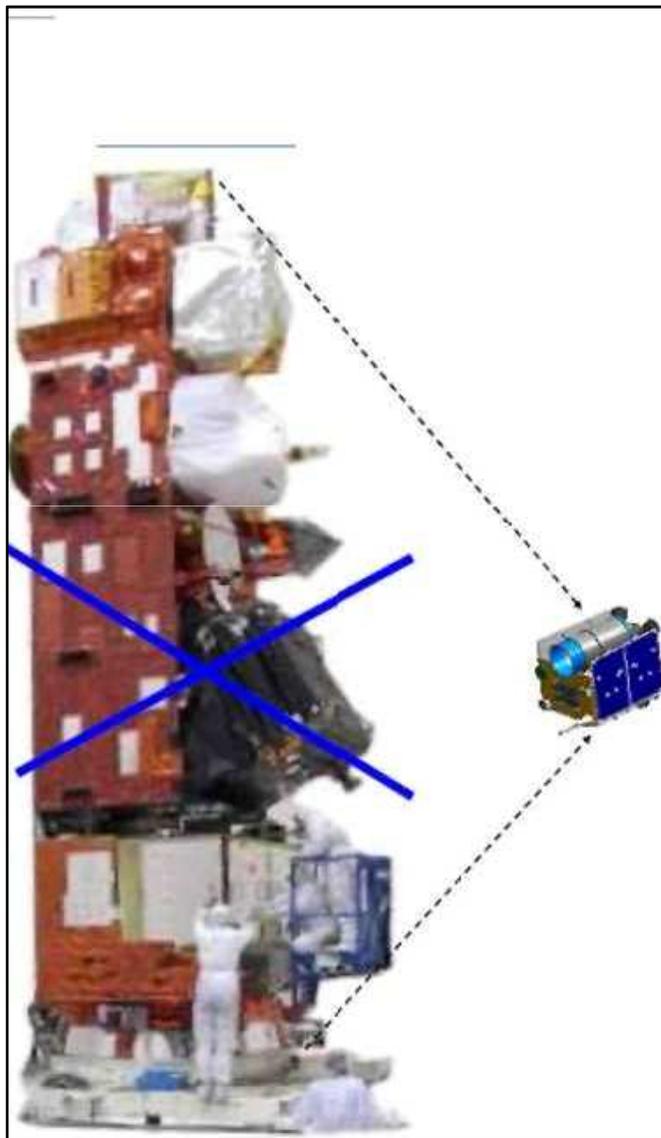
Малые	<1000кг	€100М	3-5лет
--------------	-------------------	--------------	---------------

Мини	500кг	€30М	2года
-------------	--------------	-------------	--------------

Микро	50кг	€10М	1.5года
--------------	-------------	-------------	----------------

Нано	1-10кг	€1М	1 год
-------------	---------------	------------	--------------

Пико	100г	>€100к	≅1года
-------------	-------------	------------------	---------------

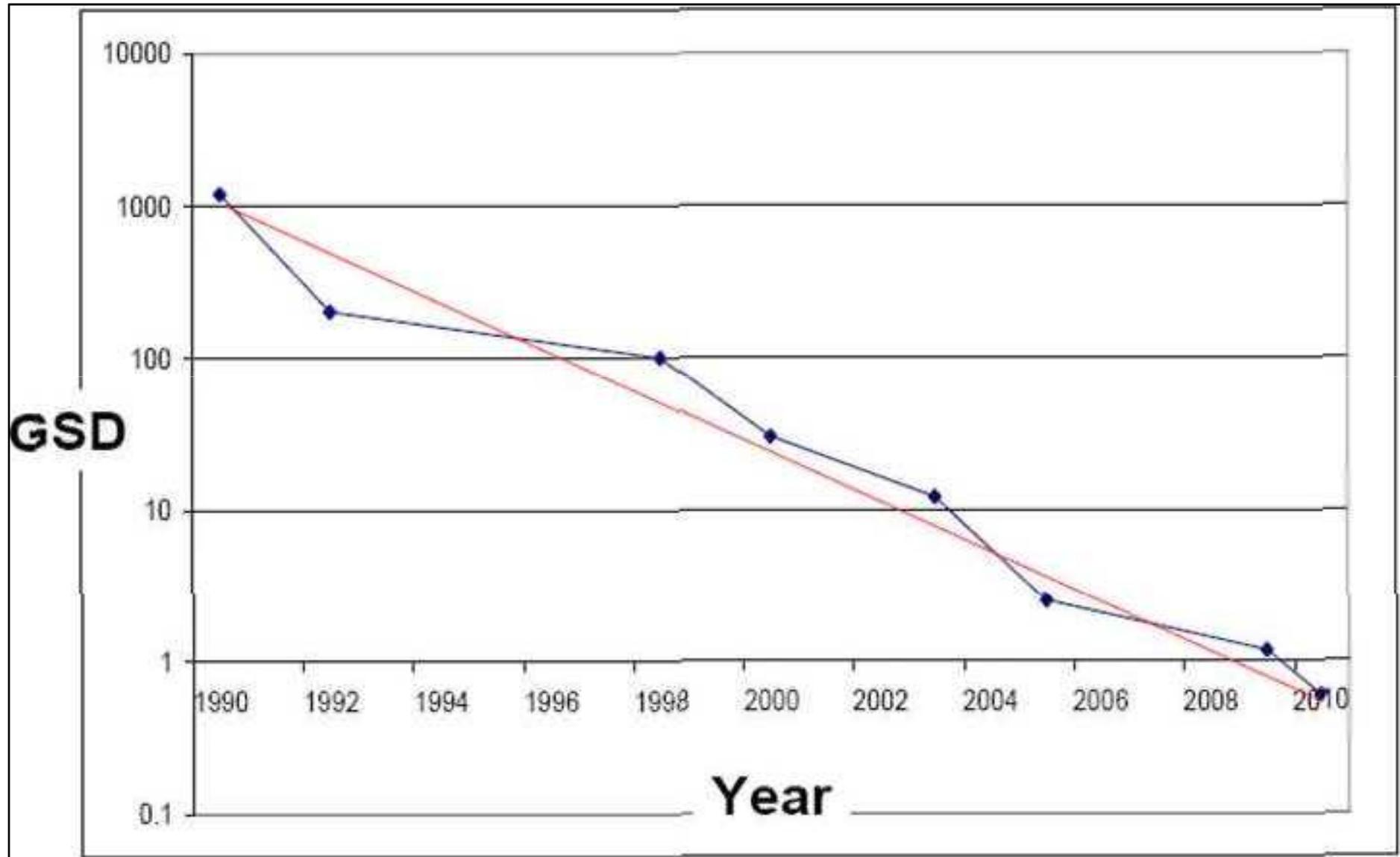


«Главный недостаток больших спутников – попытка решать проблемы завтрашнего дня с помощью вчерашних технологий»

Owen Brown, DARPA Project Manager



Тренд пространственного разрешения следует закону Мура





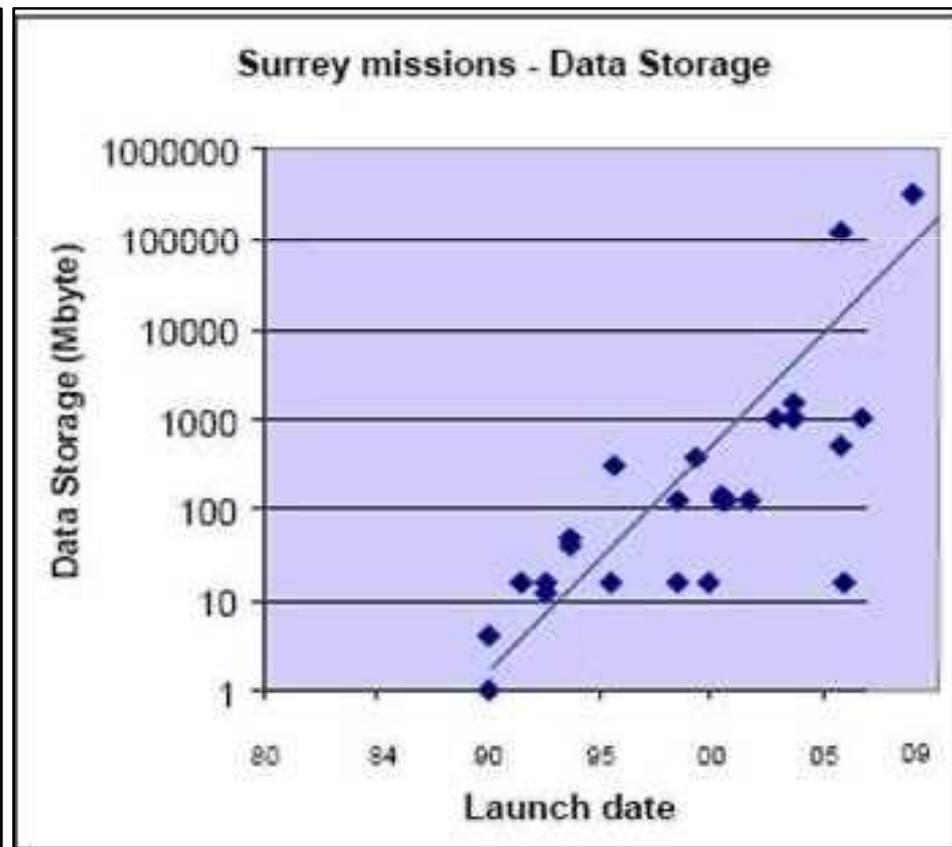
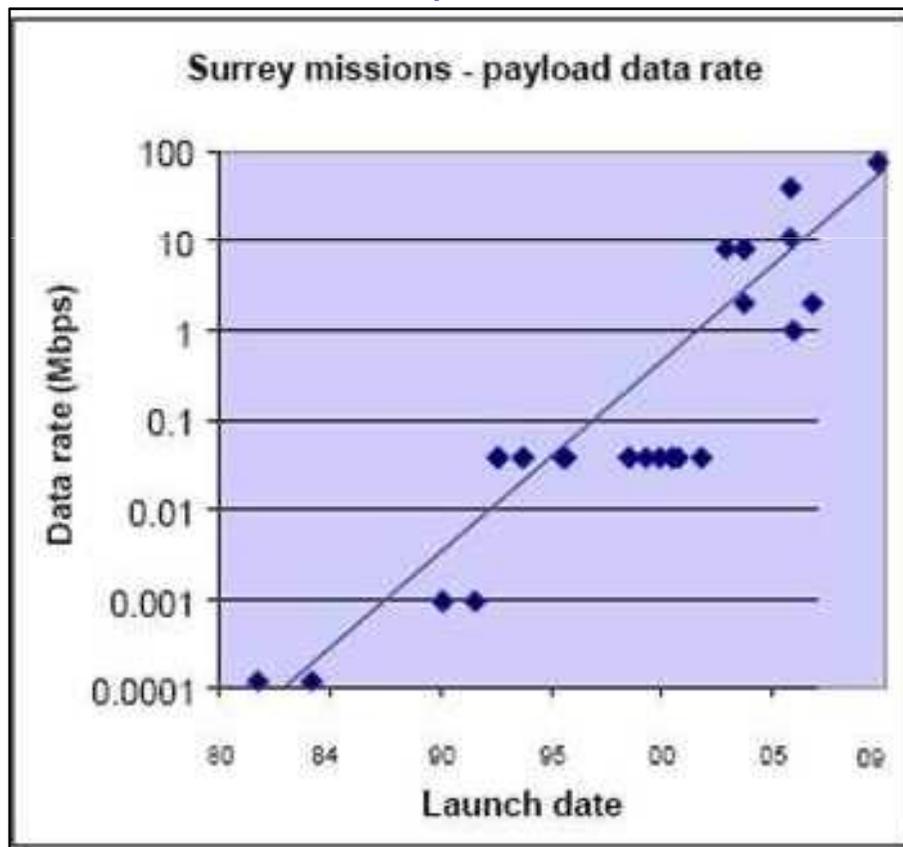
Но не только пространственное разрешение



Для спутников ДЗЗ также изменился объем передаваемых данных:

Увеличение составляет два порядка величины за 10 лет

- Скорость передачи данных
- Объем хранимых данных

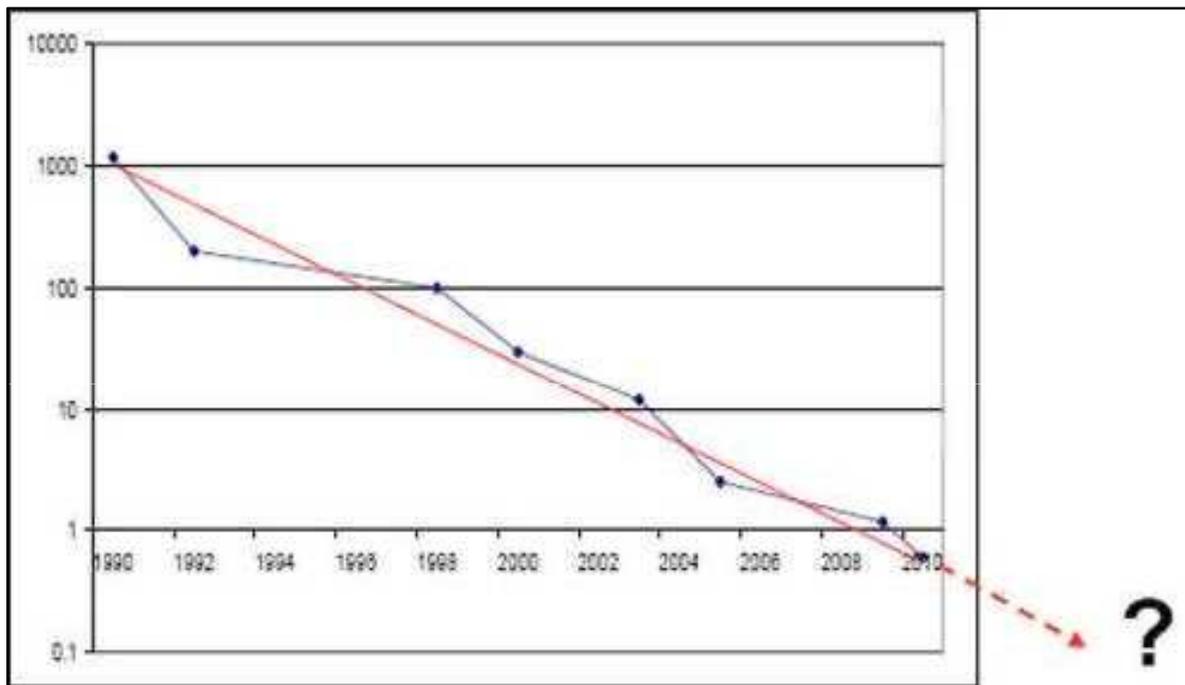




Может ли это продолжаться бесконечно?



Законы физики для увеличения пространственного разрешения требуют увеличения апертуры оптики



Размеры оптической системы для высокого пространственного разрешения с приемлемой ФПМ, отношением сигнал-шум и полосой захвата требуют очень больших апертур

«Предел для микроспутников (200 кг) с обычной оптикой возможно составляет 0.5 м GSD» Professor Martin Sweeting, SSTL President



Что дальше: спутники ДМС высокого разрешения



Камера высокого разрешения

- 1,8м GSD Pan
- 3 м 4-канальный мультиспектральный
- 15 км полоса захвата



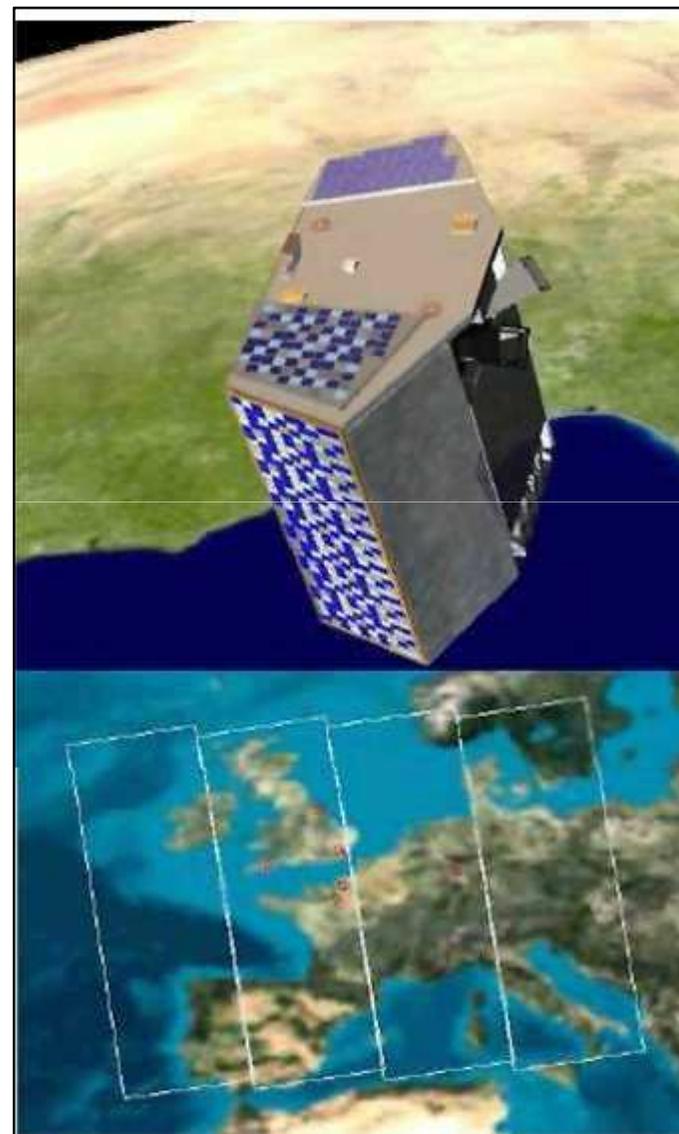
Широкоформатная камера

- 15-22м 4-band мультиспектральный
- -600 км полоса захвата

Улучшенные режимы

- Дополнительные оперативные режимы
- Высокоскоростное перенацеливание и маневренность
- Сдвоенная радиолиния 105 Мбит/сек X-диапазона
- Суточная производительность - до 400 кадров/сутки

7 лет САС

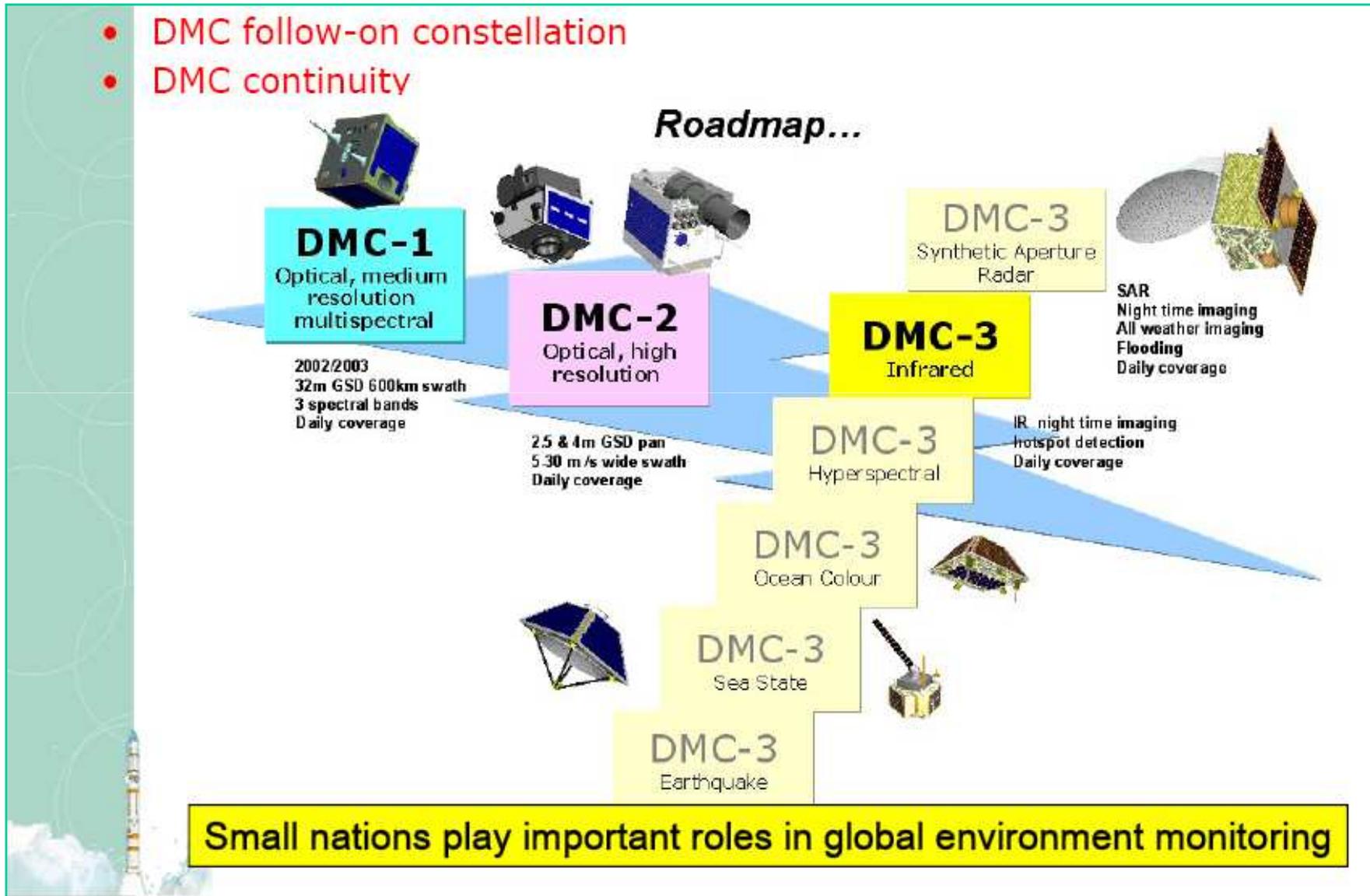




Что дальше: группировка спутников DMC



- DMC follow-on constellation
- DMC continuity

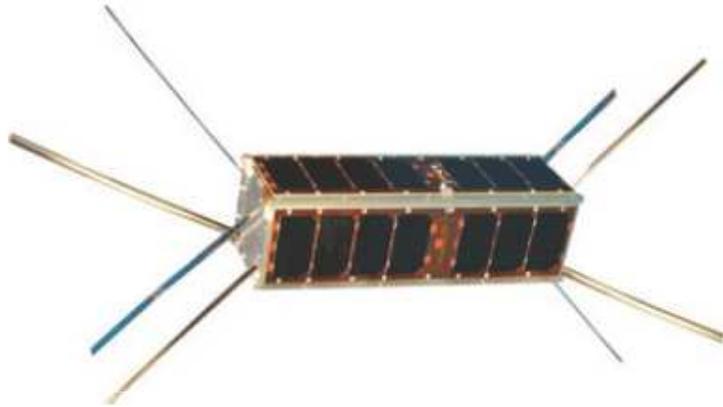




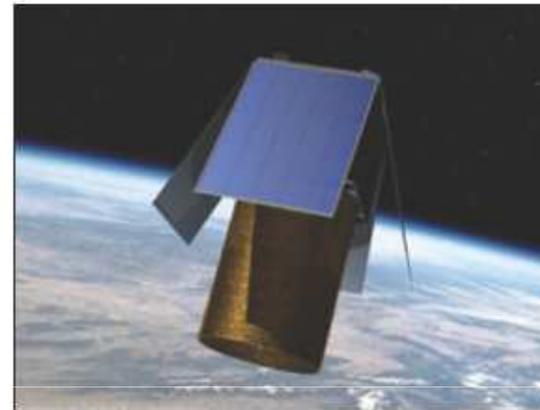
Наноспутники для Минобороны США



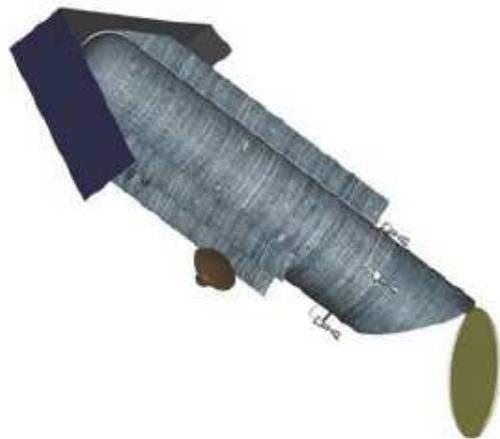
SMDC - ONE



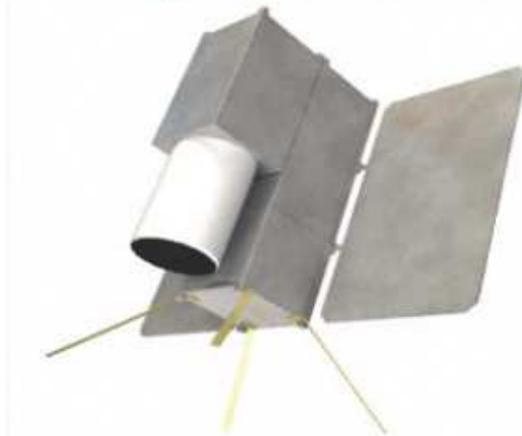
Kestrel Eye



NanoEye



Small Agile Tactical Satellites





Наноспутники связи



USASMDC/ARSTRAT - армейская программа демонстрации технологий наноспутников тактической связи

Включает 8 SMDC-ONE 4 кг спутников + 2 для получения летной квалификации.

Первый запуск состоялся в 2010 г.

Размер 10x10x32 см

Предназначены для сбора данных от наземных центров управления и контроля и передачи их в штабы.

Срок создания 1 год.

Стоимость менее 1 млн.USD за один спутник





Наноспутник МО США Kestrel Eye



Вес – 8 кг

Запускается непосредственно на поле боя

Обеспечивает получение изображений с пространственным разрешением 1,5 м

Прием в реальном времени на портативную станцию приема

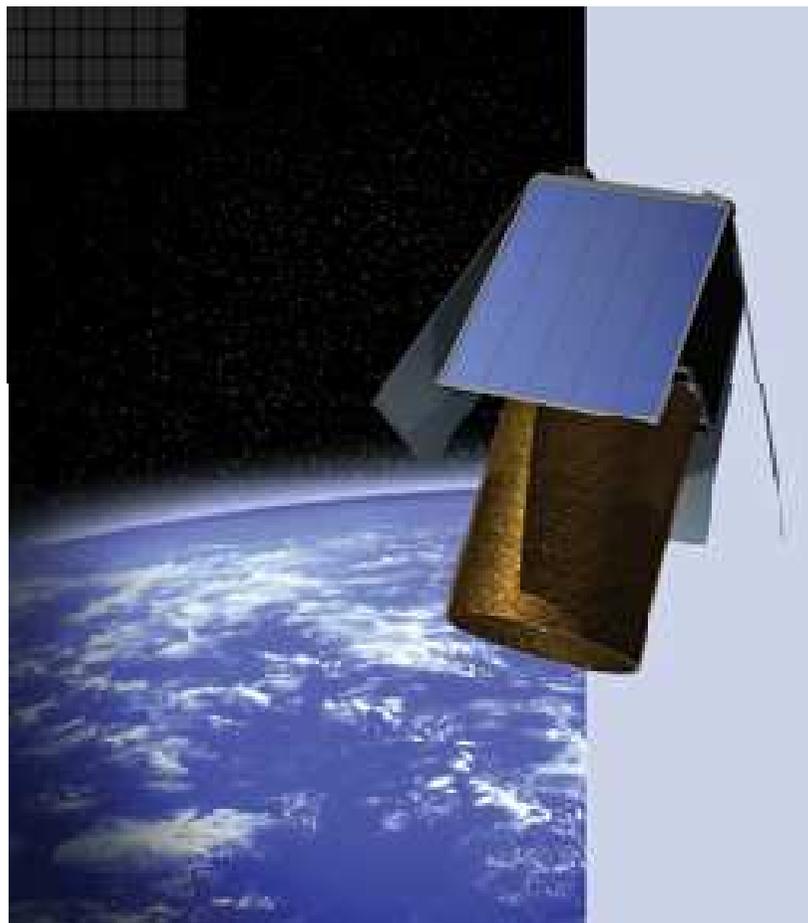
Группировка из 30 наноспутников обеспечивает круглосуточное получение информации

Разработчик - IntelliTech Microsystems Inc.

Заявленная стоимость – 1 млн.\$/спутник

Все элементы спутника, включая полезную нагрузку, коммерчески доступные и прошли наземные испытания, включая 25 см объектив

Состояние проекта – в октябре 2009 г. выпущен эскизный проект, в конце 2010 – окончание сборки и комплексных испытаний, пуск – 2011 г.





Перспективный радарный малый спутник



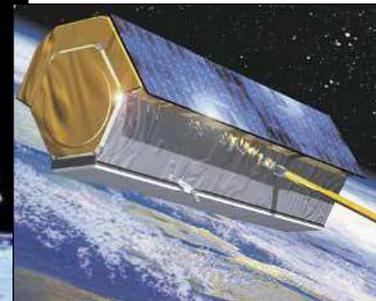
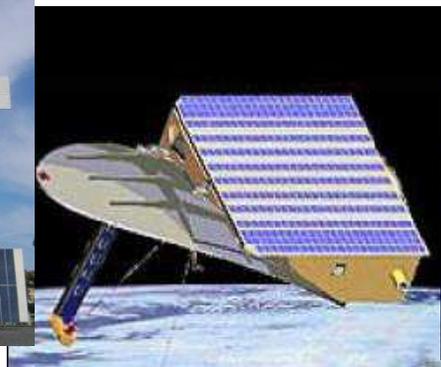
RadarSat-1:

- 3000 кг платформа
- 1500 кг ПН
- 800 кг антенна

DMC-SAR:

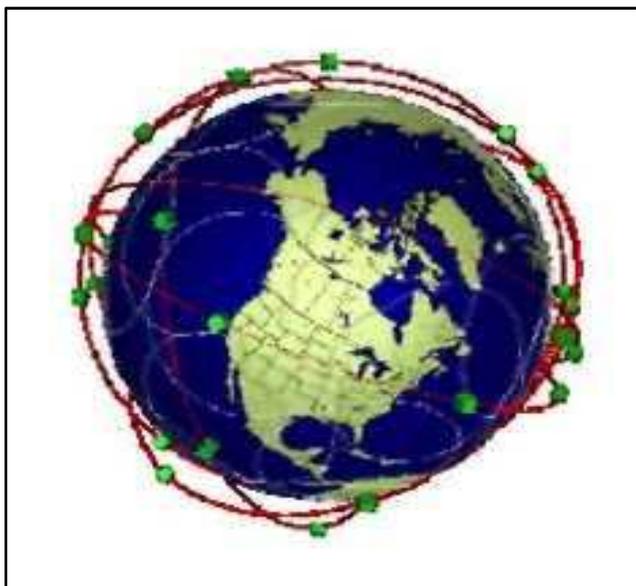
- 100 кг платформа
- 30 кг ПН
- 1.5 кг антенна

Миссия	Потребитель	Вес/ Разрешение	Цена
RadarSat-1 (1995)	Canadian govt.	3 т/20 м	\$650M excl. launch
ERS-2 (1995)	ESA	2.5 т/10 м	\$650M
TerraSAR (2007)	DLR	1.2 т/16 м	\$120M excl. launch
SAR-LUPE (2007)	German military	0.8 т X 5/ 1 м	\$420M incl. launch
TecSAR (2008)	Israeli govt.	0.3 т/5 м	\$300M
DMC-SAR (2015?)	Int.Charter	0,15 т/10-20 м	\$50M excl. launch





«Созвездия» и «Рои»



«Созвездия» и «Рои» малых спутников предоставляют следующие возможности:

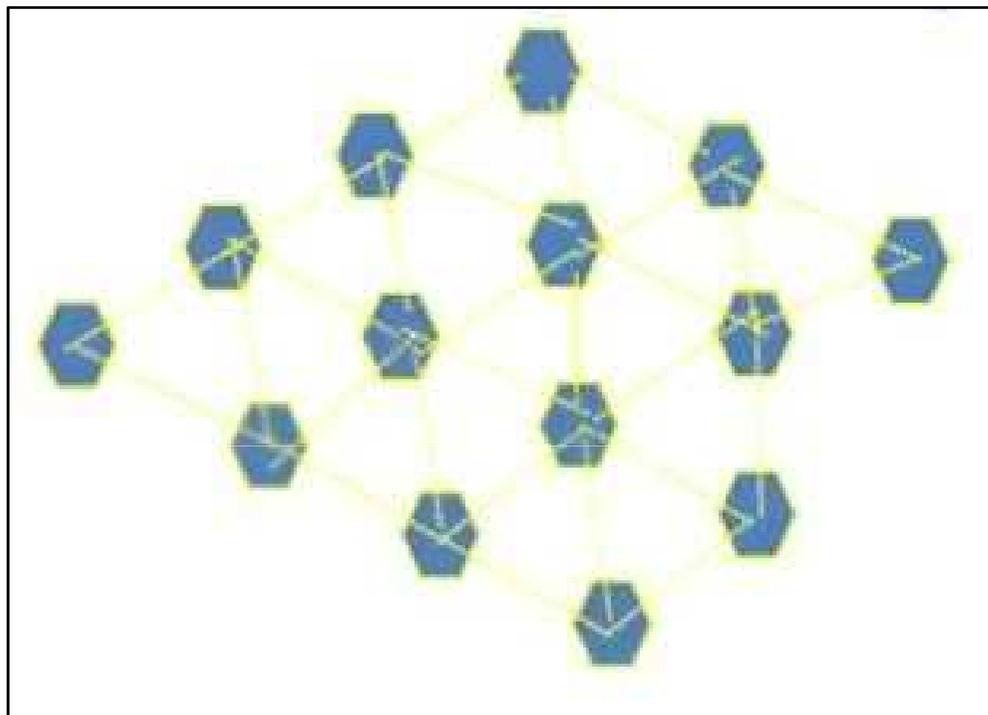
- Быстрый повторный просмотр – улучшение временного разрешения
- Совместный одновременный просмотр с нескольких спутников – совмещение данных
- Формирование синтезированной оптической апертуры



Как достичь более высокого пространственного разрешения?



Распределенная апертура



Виртуальный спутник



- «Виртуальный спутник», сформированный сетью малых спутников
- Распределенные малые зеркала, летающие в группировке «Рой»
- Распределенные дублированные апертуры – более эффективные, чем одиночные
- Распределенные адаптивные архитектуры – различные задачи



Future, Fast, Flexible, Fractionated, Free- Flying
Spacecraft united by Information eXchange (SystemF6)



Система F6 предложена офисом программ тактических технологий DARPA для проектирования, создания и демонстрации возможностей распределенного микроспутника:

- Модули малых спутников функционируют как одна большая платформа
- Модули малых спутников беспроводным образом обмениваются данными и энергией
- Устойчивая, защищенная, самоорганизующаяся сеть
- Распределение ресурса между модулями (вычисления и т.п.)
- Кластерные группировки
- Реализованный прототип - КА Orbital Express, который автономно дозаправил второй КА, а также заменил его батареи и компьютер





Большой спутник – набор микроспутников



- Создав F6, DARPA собирается продемонстрировать возможность декомпозиции большого монолитного спутника на группу элементов или узлов, связанных беспроводным образом.
- Каждый узел выполняет специфическую функцию большого космического аппарата, например, один может быть компьютерным узлом, в то время, как другой передатчиком или «умным» датчиком.
- Эти узлы, функционируя совместно, создают единый «виртуальный» космический аппарат.
- Разделяя на части космический аппарат, можно увеличить надежность, а также внедрять новые гибкие принципы проектирования и сборки. Например, возможно физически изолировать полезные нагрузки от остальных частей системы.

Разделение на части означает, что можно создавать большую космическую систему как набор малоразмерных спутников



Технические принципы System F6



Сетевая организация

- Сеть узлов с уникальными адресами
- Самоорганизующаяся, надежная, легкодоступная, устойчивая и защищенная

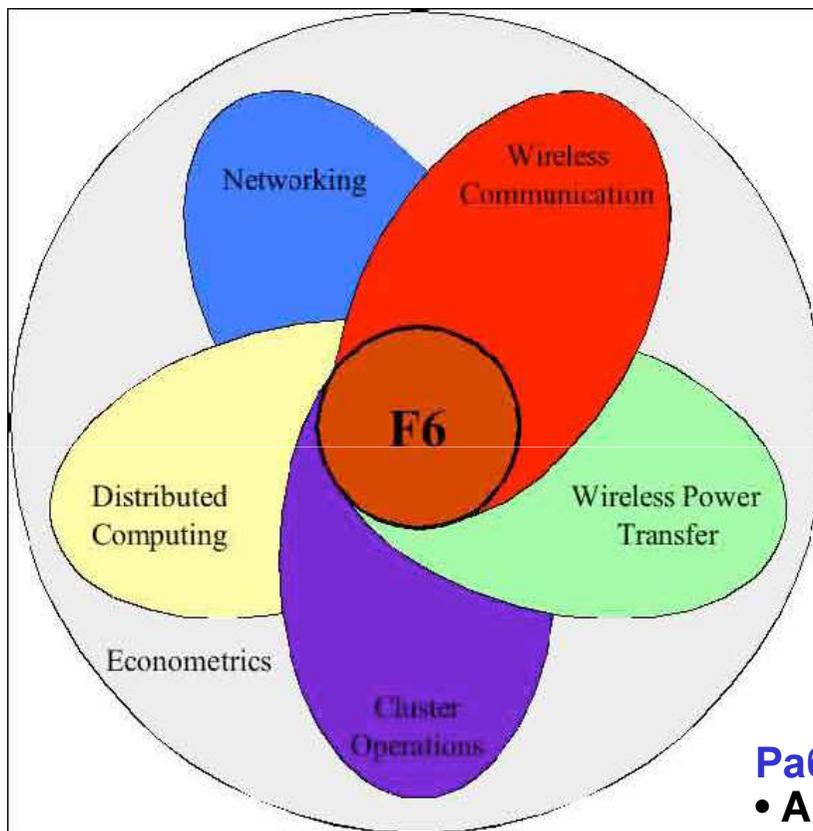
Распределенные вычисления

/ Полезная нагрузка

- распределенный ресурс включенный в составные модули
- Независимые требования к полезным нагрузкам

Эконометрика

- Рискостойчивая методология конструирования, основанная на достижении значимого результата
- Правильный учет для обеспечения структурной гибкости и надежности



Беспроводная связь

- Обеспечение совместной эксплуатации модулей
- Поддержание конфиденциальности, Интеграции и электромагнитной совместимости

Беспроводная передача энергии

- Внутри - и внешняя передача энергии
- Обеспечение ориентации по Солнцу

Работа кластера

- Автономная совместная работа, “сближение” и поддержание межспутниковых расстояний
- Избежание столкновений и маневрирование при угрозах



Изменение временных требований к созданию военных космических систем США



Проектирование: Время, затрачиваемое на разработку, создание и испытания космической техники

- Сегодня от 2 до 10+ лет
- Чтобы удовлетворять современным тактическим требованиям вооруженной борьбы необходимые космические средства должны быть разработаны в течение 6-9 месяцев

Размещение на космодроме: Время, необходимое для установке на РН, запуска и развертывания космической системы

- Сегодня от 3 до 12+ месяцев
- Средства космического базирования должны быть на месте и готовы к эксплуатации в течение нескольких часов от момента получения запроса на поддержку

Эксплуатация: Время, необходимое для доставки продукта конечному потребителю

- Сегодня график зависит от системы и *обычно составляет от нескольких часов до нескольких дней*
- По требованиям оперативно адаптируемых космических средств (Operative Response Space - ORS) результаты применения космических систем должны быть доступны в реальном времени в соответствии с темпом изменения ситуации на поле боя (непрерывно/секунды)



Спутниковые системы SMARTBus



Известны как спутники 6 дневной готовности

Основная цель: Собрать и запустить в полевых условиях по необходимости для разведки, связи, получения изображений

PLUG-SENSE-PLAY





Broad Agency Announcement

System F6

Tactical Technology Office (TTO)

DARPA-BAA-11-01

October 20, 2010



Промежуточные выводы:
мировые тренды развития малых спутников

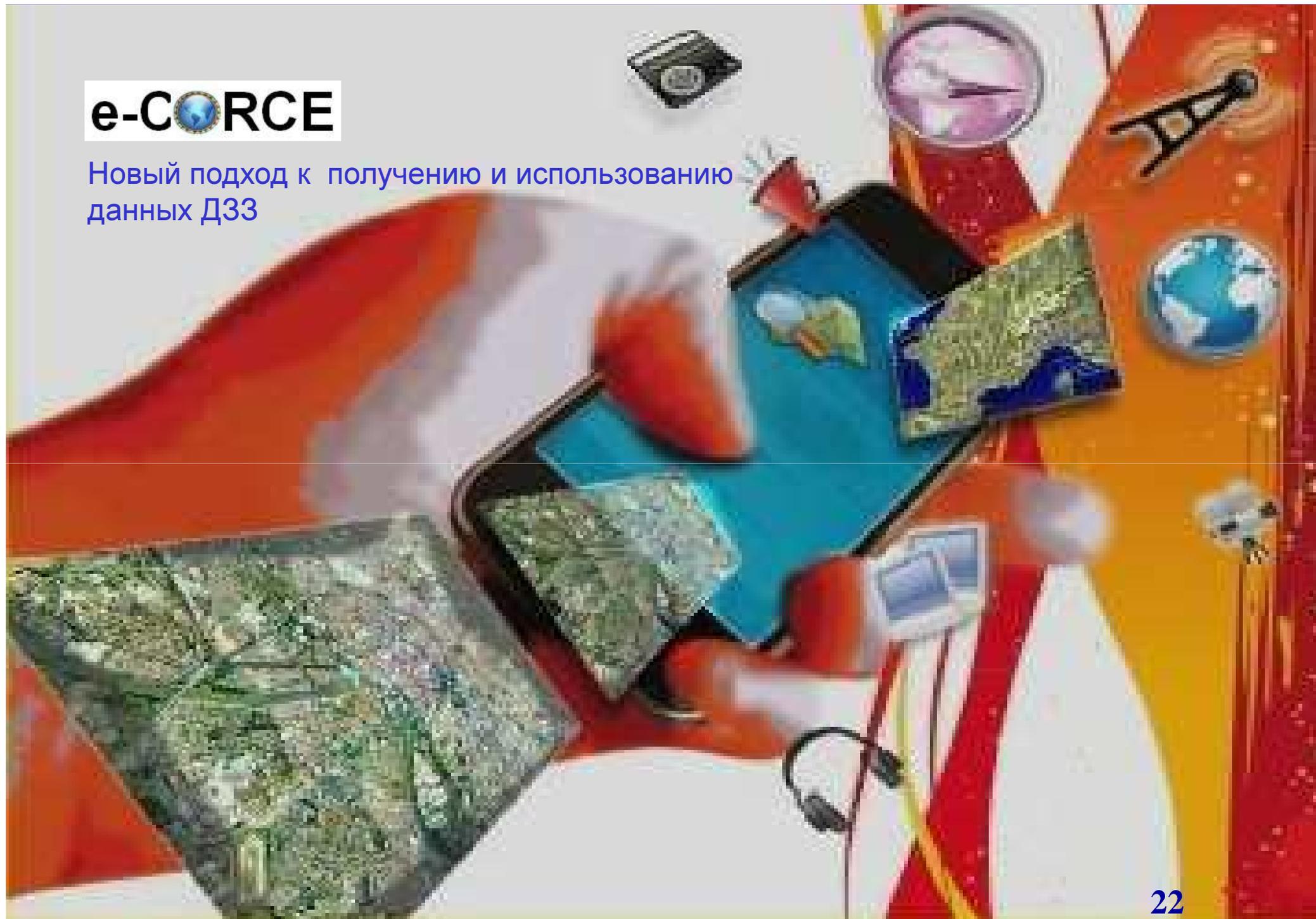


- **Коммерчески доступные технологии** – закон Мура прогнозирует для малых КА быстрое уменьшение стоимости и времени создания за счет регулярного обновления широко доступных элементов при постоянном наращивании функциональных возможностей
- Меняется концепция самого космического аппарата – теперь это «**прибор в космосе**» или «**спутник на кристалле/на печатной плате**»
- «**Созвездия**» и «**Рои**» малых спутников создают реальные преимущества при создании новых космических систем на базе «виртуальных» КА (локальную компьютерную сеть в космосе) с возможностями большого КА
- **Малоразмерные КА** становятся основным направлением развития космического компонента наблюдения системы литосфера – атмосфера – ионосфера, а в скором времени и ДЗЗ

Малоразмерные спутники – это прорывная технология, которая меняет мировую экономику космической деятельности

e-CORCE

Новый подход к получению и использованию данных ДЗЗ





Коммерциализация использования данных ДЗЗ





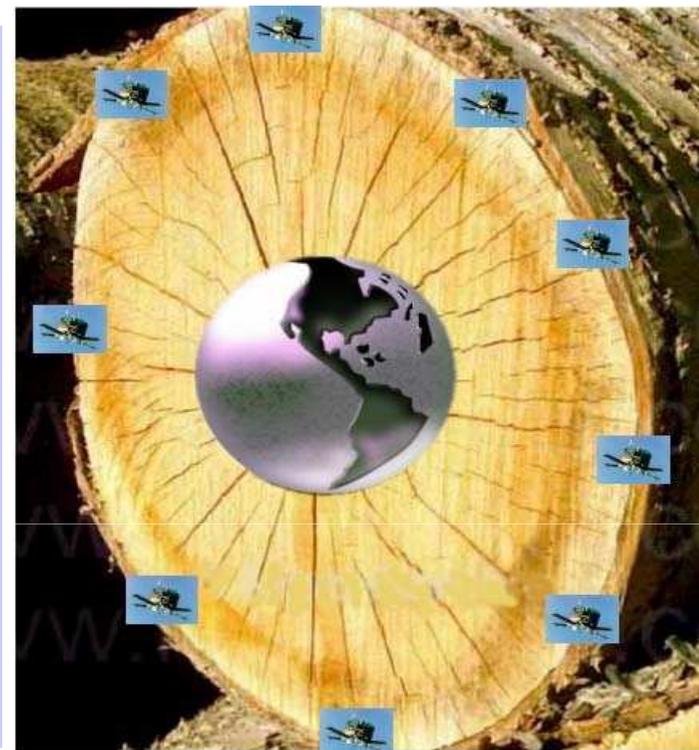
Концепция магазина снимков 1 метрового разрешения: e-CORCE (по материалам CNES)



1 Земля, 1 метр, 1 день!



Можете ли Вы представить себе, что возможно создать самоподдерживаемую космическую систему, способную сфотографировать всю поверхность нашей планеты с пространственным разрешением 1 метр за 1 день?



“Я хочу увидеть любое место на Земле в любое время”
(Google - Earth)

- ✓ “Я хочу связаться с кем угодно”
Télécoms + Internet
- ✓ “Я хочу знать где я нахожусь” (GPS)

e-CORCE означает "e - Continuous Observing system Relayed by Cellular processing Environment"

"Continuous Observing" означает непрерывно обновляемые снимки поверхности Земли

"Relayed by Cellular processing Environment" относится к тому, что концепция системы основана на тесном взаимодействии трех слоев: Космос, Телекоммуникации и ГРИД

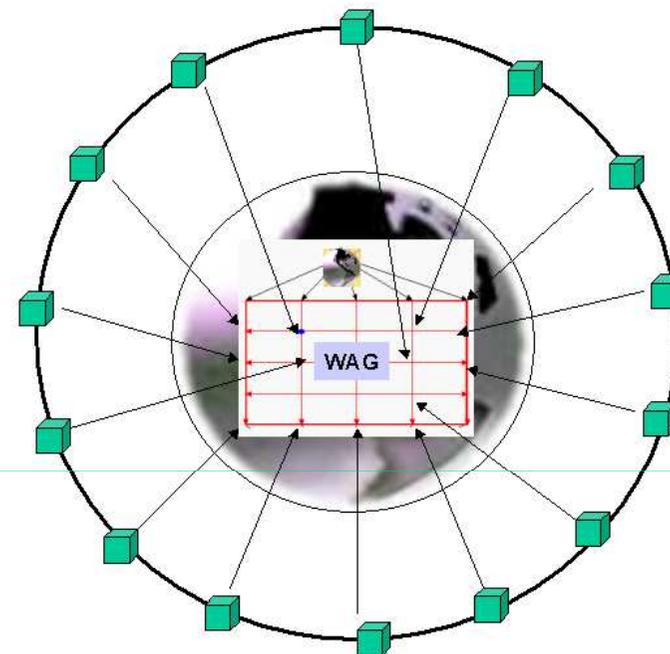


e-CORCE – единый пространственно-распределенный инструмент



Три полностью интегрированных технических уровня, обеспечивающих единую концепцию:

- **Космический сотовый уровень:** обеспечивает использование полностью автоматизированной спутниковой группировки, постоянно снимающей всю земную поверхность в течение 1 дня с разрешением 1 метр (предполагается наличие 100 или более КА).
- **Телекоммуникационный сотовый уровень:** спутники постоянно передают сильно сжатый (jpeg) поток отснятой информации в наземные центры. Телекоммуникационные операции будут автоматизированы и предельно упрощены, что устраняет оператора - человека на приемной станции. Применение IP – адресации создает возможность организации общего канала для сигналов управления и телеметрии.
- **Наземный сотовый уровень (Wide Area Grid):** Из-за огромного количества информации, собираемой ежедневно, вся обработка будет полностью распределена по всей земной поверхности, обеспечивая приемлемое локальное покрытие. ГРИД-технология способна обеспечить подобную организацию распределенной обработки, учитывая то, что земная мозаика никогда не будет централизованно объединяться, приводя к «Виртуальному глобусу» (аналогично технологии e-Tube)



e-CORCE не может существовать без объединения воедино всей совокупности трех сильно распределенных технических уровней, которое превращает всю систему в единый и единственный инструмент на всей Земле!



Некоторые технические пояснения

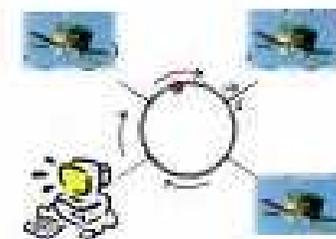


Прием 500 000 000 000 000 метрических пикселей в день !!!

- Количество спутников связано с полосой захвата (т.е. 100 спутников /28км обзора), но скорость передачи данных на землю – управляемый параметр
- Платформы КА максимально упрощены
- Оптическая аппаратура упрощена:
 - успокоительная стабилизация и компенсация смаза (для увеличения светового потока)
 - 2D детекторы (увеличивают экспозицию)
 - не требуется формирования изображения на борту (не нужно выравнивать ПЗС, можно использовать дешевые бытовые)
- Определение положения на орбите через GPS
- Упрощенная электроника бортовой обработки данных (предлагаются PC процессоры и периферия космического применения под Linux)
- Бортовая компенсация изображений, основанная на «психо-визуальном восприятии», используемом пользователями Интернета. Ожидается более, чем 30 кратное сжатие на борту под JPEG2000 (уменьшая скорость сброса с 450Mb/s до 15 Mb/s!)
- Доступ к бортовым системам видится как IP узел. (IP – адресация обеспечивает преимущество двустороннего доступа как для телеметрии, так и для управления КА.)
- Не снимается облачность и морская поверхность, устраняемые компрессором в динамическом режиме
- Почти не требуется буферирование данных на борту (любые неприятые данные теряются, но избыточность восстанавливает их)



e-CORCE=The
Earth Observation
“MP3”

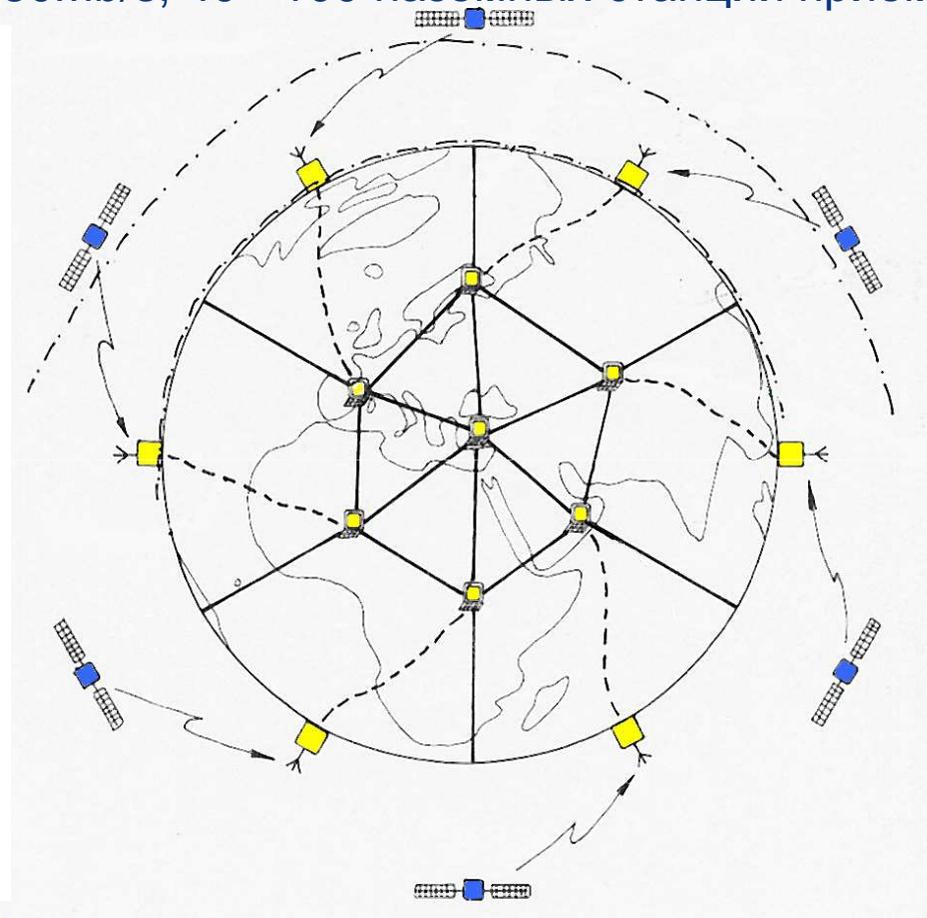
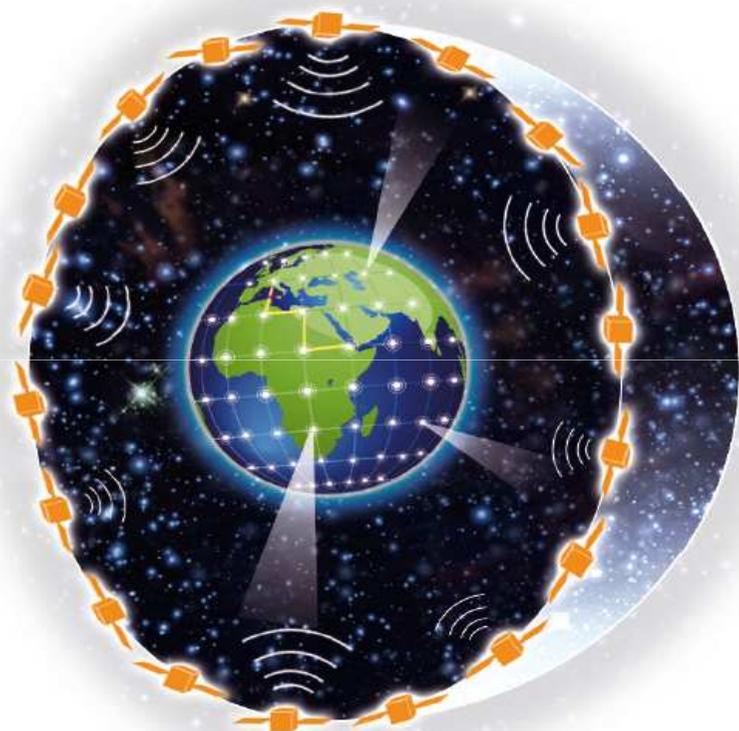




E-CORCE - многоуровневая спутниково – наземная GRID, создаваемая до 2015 г.!



13 - 104 спутников, обзор 28 км, вес 220 кг, 80Mb/s, 40 - 100 наземных станций приема



Никакого распределения конечных потребителей, никакого головного центра, не создается законченная мозаика изображения Земли, конечный продукт логически распределен, но никогда физически не возникает, доступен как виртуальный продукт IP Интернет (т.е. I-tune, I-tube или функционально эмулируется)



E-CORCE: требования к наземной сотовой обработке



- Общая компьютерная мощность составляет 5000 PCs (1000 in 2012) распределенных по 50 - 100 приемно-обрабатывающих центрам, способных генерировать на ежедневной основе глобальную мозаику с разрешением 1 метр
- Любой узел WAG будет использовать до 20 PCs для создания своей локальной мозаики.





E-CORCE: удивительные следствия,
обеспечиваемые WAG

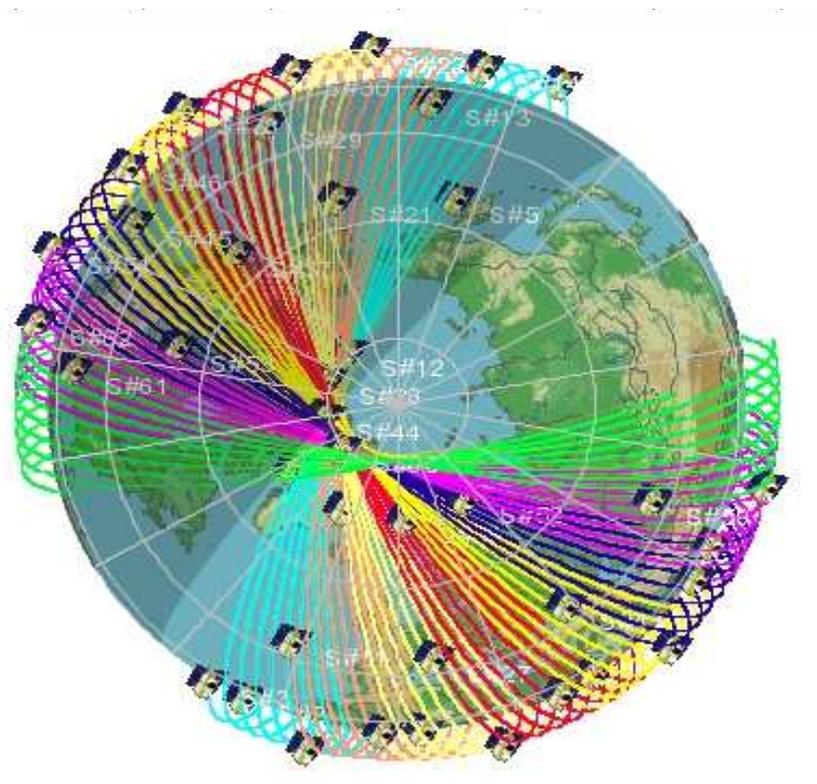


- **Вся Земля постоянно доступна для обзора = Программирование не требуется**
- **Вся Земля доступна как «Виртуальный глобус» = Каталог не нужен**
- **Вся система постоянно включена = Не нужны новые технические интерфейсы для распространения**
- **Вся система полностью автоматизирована = коммерческая платформа, похожая на «Amazon»**
- **Хранение данных осуществляется потребителем (для хронологии), а не e-CORCE, поскольку данные постоянно обновляются => Новые изображения дешевле старых !**

⇒ Стоимость продукции уменьшается на четверть по сравнению с существующими ценами, обеспечивая новые применения в случае необходимости



Структура спутниковой группировки e-CORCE



- Многоплоскостная группировка
 - Солнечно-синхронная орбита (14+93/104) 600 км
 - 104 спутника в 8 орбитальных плоскостях (13 спутников на плоскость)
 - Плоскости распределены с $\frac{1}{2}$ часовым отстоянием (8h30-12h30) – оптимальное местное время
 - Совместимы с 50 - 100 наземными станциями
- Основные преимущества
 - Позволяет обеспечить полное глобальное покрытие в течение недели на первом этапе
 - Сохраняет устойчивое покрытие в случае аварии на спутнике или на узле WAG
 - Допускает гибкий инкремент размещения с целью уменьшения времени повторного просмотра
 - Ограничивает неоднозначность доступа к наземным станциям



Спасибо за внимание!

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

*А.А.Романов, д.т.н., профессор,
зам.ген.директора – ген.конструктора
по научной работе; tel.:+7(495)6739224
E-mail: romanov@rniikp.ru*