

# 针对 HJ-1B 的水表温度反演方法研究

高玉川<sup>①</sup>, 梁洪有<sup>①</sup>, 李家国<sup>②,③</sup>, 余涛<sup>②,③</sup>, 顾行发<sup>②,③</sup>

(<sup>①</sup> 河南理工大学 测绘学院, 焦作 454003; <sup>②</sup> 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101;

<sup>③</sup> 国家航天局航天遥感论证中心, 北京 100101)

**摘要:** 利用 HJ-1B 热红外波段数据进行了水表温度反演。数据定标后, 利用水体指数对 HJ-1B 热红外数据进行了水体识别, 识别后直接对水体区域进行编程处理。在模型方面, 考虑了 HJ-1B 热红外通道波谱响应函数的影响, 利用 MODTRAN4 模型修正了 Jimenez Munoz 和 Sobrino 提出的单通道算法, 算法的参数“水汽含量”从 MOD05 水汽产品中取得。最后利用相同时间段内 MODIS 的海表面温度产品进行了验证, 结果显示在抽取的 1211 个验证点中相对误差在 5% 以下的占 78.695%, 可以认为利用 HJ-1B 热红外数据进行水表面温度反演是可行的。

**关键词:** HJ-1B; 水表温度; MODIS; MOD05

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.02.002

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)114-0009-05

## Method of Water Surface Temperature Retrieval Based on HJ 1B

GAO Yuchuan<sup>①</sup>, LIANG Hongyou<sup>①</sup>, LI Jianguo<sup>②,③</sup>, YU Tao<sup>②,③</sup>, GU Xingfa<sup>②,③</sup>

(<sup>①</sup> Institute of Surveying and Mapping, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003;

<sup>②</sup> Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Science, Beijing 100101;

<sup>③</sup> Center for National Spaceborne Demonstration, Beijing 100101)

**Abstract:** In this paper, the thermal infrared band data of HJ-1B are used to retrieve water surface temperature. After calibration, the water index is used in the procedure of identifying the water body, in accordance with which the routines for the desired district of water are compiled. In terms of the model, the MODTRAN4 has employed to revise the mono channel algorithm proposed by Jimenez Munoz and Sobrino, considering the HJ-1B thermal infrared channel spectral response function. The parameter “content of vapor” in algorithm is obtained from the MOD05 vapor product. At the end, the effectiveness of result using MODIS sea surface temperature products are verified, and compared with the HJ-1B data of the same time. And the result shows that there are 78.695% among the 1211 validation points have the relative error less than 5%. So it is feasible to apply the HJ-1B thermal infrared data to retrieve the water surface temperature.

**Key words:** HJ-1B; water surface temperature; MODIS; MOD05

### 1 引言

水体温度是能量平衡、气候环境变化和海洋渔业等领域中的重要指标, 目前对水表温度的定量反演主要是基于国外的 AVHRR 和 MODIS 等多通道

热红外遥感数据以及 TM/ETM+ 单通道热红外遥感数据。党顺行等人<sup>[1]</sup>以中国东海渔区为例利用 NOAA/AVHRR 数据反演了海表温度, 为海洋渔业提供了必要的基础资料; 毛克彪, 覃志豪等人<sup>[2]</sup>针对 MODIS 的波段设置特点, 先用近红外波段反演

收稿日期: 2010-02-04    修订日期: 2010-04-12

基金项目: 国家科技支撑计划(2008BA C35B03)和(2008BA C34B02)。

作者简介: 高玉川(1982.12~), 男, 山西大同人, 硕士研究生, 主要从事遥感与 GIS 应用研究。

**E mail:** gaoyuchuan175@163.com

了大气水汽含量,用 LOWTRAN 模拟水汽与透过率的关系,最后运用劈窗算法反演了山东半岛地区的地表温度;覃志豪等人<sup>[3]</sup>提出针对 Landsat TM 6 单通道反演的单窗算法,并对以色列-埃及边境地区地表温度进行了反演。目前还没有提出专门针对国产 HJ-1B 热红外数据地表温度反演的模型。

“环境和灾害监测预报小卫星星座”的 B 星<sup>[4]</sup>(简称 HJ-1B)于 2008 年 9 月 6 日发射,搭载有 CCD 和红外传感器。HJ-1B 卫星只有一个热红外通道(见表 1),而且没有专门反演水汽含量的波段设置,适用于 MODIS、AVHRR、或 TM/ETM+ 的温度反演模型不应直接应用于 HJ-1B 热红外数据反演水表面温度。本文对 Jimenez Munoz 和 Sobrino 提出的适用于 TM 的普适性单通道模型<sup>[5]</sup>进行了修正,并且考虑了 HJ-1B 热红外通道波谱响应函数<sup>[4]</sup>的影响,尽可能有利于用 HJ-1B 热红外数据进行水表面温度反演,并利用 MOD 05 水汽产品作为模型的水汽含量输入,从而定量反演了研究区的水表面温度。

表 1 HJ-1B 红外波段设置

| 平台    | 有效载荷 | 波段号 | 光谱范围 (μm)   | 空间分辨率 (m) | 幅宽  |
|-------|------|-----|-------------|-----------|-----|
| HJ-1B | IRS  | 5   | 0.75~1.10   | 150       | 720 |
|       |      | 6   | 1.55~1.75   | 150       |     |
|       |      | 7   | 3.50~3.90   | 150       |     |
|       |      | 8   | 10.50~12.50 | 150       |     |

## 2 研究区概况及数据预处理

### 2.1 研究区概况

本文所选研究区域覆盖渤海和黄海部分海域,所采用的数据为 HJ-1B 卫星 2009-10-21 02:45:31.49 过境热红外数据(波段设置见表 1),东经 117.8°~127.8°,北纬 33.6°~40.7°。这里是中国北方的黄金海域,资源丰富,属于温带气候,利于浮游生物繁殖和生长,是我国海洋生产力最高的海域之一。通过反演的海表温度能够及时准确地掌握海表温度变化情况,根据海表温度变化等情况及时指导渔场鱼群搜索、预警跟踪赤潮的发生等。

### 2.2 数据定标

对于 HJ-1B 卫星 CCD2-Band2 绿波段、IRS-Band6 中红外波段和 IRS-Band8 热红外波段,其辐射亮度图像定标公式<sup>[4]</sup>见表 2。表中 A、g(单位为 DN/(W(m<sup>-2</sup>(sr<sup>-1</sup>μm<sup>-1</sup>)))为绝对定标系数增益, L<sub>0</sub>、b 为偏移量。

表 2 HJ-1B 卫星定标公式

| 相机               | 参量             | 数值      | 定标公式               |
|------------------|----------------|---------|--------------------|
| HJ-1B CCD2-Band2 | A              | 0.9006  | $L_3 = DN/A + L_0$ |
|                  | L <sub>0</sub> | 4.0683  |                    |
| HJ-1B IRS-Band6  | A              | 3.8576  | $L_6 = DN/A$       |
| HJ-1B IRS-Band8  | g              | 59.421  | $L_8 = (DN - b)/g$ |
|                  | b              | -25.441 |                    |

### 2.3 水体识别

水体的反射从可见光到中红外波段逐渐减弱,在近红外和中外波长范围内吸收性最强,几乎无反射,而植被对绿光的反射最强,因此 M cfeeters<sup>[7]</sup>利用可见光波段和近红外波段的反差提出的归一化差异水体指数 NDWI,公式如(1):

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

式中, Green 代表绿光波段, NIR 代表近红外波段。

徐涵秋<sup>[8]</sup>认为 M cfeeters 忽略了土壤和建筑物这两个重要地类,根据其反射特性,修改了 NDWI,提出改进的归一化差异水体指数(NMDWI),见公式(2):

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR) \quad (2)$$

其中 MIR 为中红外波段。

波段定标系数见表 2,定标后提取 MNDWI > 0 的像元。

## 3 水表面温度反演原理与模型

### 3.1 原理

假设地表和大气对热辐射具有朗伯体性质,则热辐射传输方程可简化如(3)式<sup>[6]</sup>,热红外传感器接收到的辐射亮度 L(λ)包括地表面的热辐射、大气向上发射的热辐射以及大气向下的热辐射经地表反射后又被传感器接收的热辐射三部分。

$$L(\lambda) = [\epsilon B_{\lambda}(T_s) + (1 - \epsilon)L_{atm,\lambda}^{\downarrow}] \tau_{\lambda} + L_{atm,\lambda}^{\uparrow} \quad (3)$$

其中, T<sub>s</sub> 为地表真实温度, B<sub>λ</sub>(T<sub>s</sub>) 为温度 T<sub>s</sub> 的黑体在热红外波段的辐射亮度, L<sub>atm,λ</sub><sup>↓</sup> 为大气向下的辐射亮度, L<sub>atm,λ</sub><sup>↑</sup> 为大气向上的辐射亮度, τ<sub>λ</sub> 为大气透过率, ε 为地表发射率。

### 3.2 反演算法

利用热辐射传输方程求解温度需要知道实时的大气廓线数据,而这部分数据又很难获得且求解复杂,所以研究人员基于热辐射传输方程作了一定的假设,并利用统计回归的方法提出两种简单易用的单通道反演模型:一种是覃志豪提出的<sup>[9]</sup>单窗算法;

另一种是 Jimenez Munoz 和 Sobrino 提出的<sup>[5]</sup> 普适性单通道算法。段四波、阎广建等人<sup>[10]</sup> 经过研究认为这两种模型反演结果总的趋势比较接近,但是后者反演精度更高。文中采用 Jimenez Munoz 和 Sobrino 提出的单通道算法,模型如式(4):

$$T_s = \sqrt[\gamma]{\varepsilon^{-1}(\phi_1 L_{sensor} + \phi_2) + \phi_3} + \delta$$

$$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{sensor}}{T_{sensor}^2} \left[ \frac{\lambda^4}{c_1} L_{sensor} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (4)$$

$$\delta = -\sqrt[\gamma]{L_{sensor} + T_{sensor}}$$

其中  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\phi_3$  为大气函数,是总大气水汽含量  $w$  的函数,  $T_s$  是地表温度(K),  $L_{sensor}$  是传感器辐射亮度 ( $W \cdot \mu m^{-1} \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ),  $T_{sensor}$  是传感器亮温(K),  $\lambda$  是有效波长( $\mu m$ ),  $\varepsilon$  是地表比辐射率,  $c_1$ 、 $c_2$  为常数,取  $c_1 = 1.19104 \times 10^8 W \cdot \mu m^4 \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ,  $c_2 = 14387.685K$ 。

在标准大气条件下,考虑 HJ 1B IRS Band8 波段响应函数  $f(\lambda)$  的影响,利用 MODTRAN4 模拟得到  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\phi_3$  和总大气水汽含量  $w$  的函数关系式为:

$$\phi_1 = 1/\tau \text{ (其中 } \tau = 0.941007 - 0.048223w - 0.041227w^2 + 0.005197w^3)$$

$$\phi_2 = 0.299143 - 2.4448w - 0.118783w^2 - 0.169506w^3 \quad (5)$$

$$\phi_3 = -0.0964117 + 1.16037w + 0.350854w^2 - 0.0529057w^3$$

式(4)中  $L_{sensor}$  由 DN 值经定标后得到,  $T_{sensor}$  由 MODTRAN4 建立  $L_{sensor}$  与  $T_{sensor}$  的查找表得到。

### 4 模型参数估计

#### 4.1 有效波长 $\lambda$

Jimenez Munoz 提出有效波长  $\lambda$  的计算方式<sup>[5]</sup> 如式(6):

$$\lambda_g = \frac{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \mathcal{Y}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} f(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

其中  $f(\lambda)$  为光谱响应函数,  $\lambda_{min}$  和  $\lambda_{max}$  为波段范围最小和最大波长,对于 HJ 1B 卫星热红外通道  $\lambda_{min} = 10.50\mu m$ ,  $\lambda_{max} = 12.50\mu m$ ,在这个波段范围之外传感器响应函数都为 0。根据公式求得  $\lambda_g = 11.576\mu m$ ,可以看出与中心波长  $11.50\mu m$  还是有一定差距的,刘三超,柳钦火等人<sup>[11]</sup> 研究认为有效波长比中心波长代替积分效果更好。

#### 4.2 比辐射率 $\varepsilon$

水体的发射率可能随水中的悬浮物含量等因素

发生改变,但这种变化幅度不大,且大气中水汽的增加也会使得水表面温度的反演对水表面发射率的变化不敏感<sup>[12]</sup>,所以本文可取一近似值 0.995。

#### 4.3 水汽含量 $w$

影响大气透射率的因素较多,如气压、气温、气溶胶含量、大气水分含量、 $O_3$ 、 $CO_2$ 、 $CO$ 、 $NH_4$  等,在热红外波段,大气透射率的变化主要取决于大气水汽含量的动态变化,其他因素的变化对大气透射率的变化影响很小,因此,水汽含量就成为大气透射率估计的主要考虑因素。

毛克彪<sup>[13]</sup>,刘三超<sup>[14]</sup> 等人对水汽做了一定的研究,文中是直接采用 MOD05 大气可降水量产品,分辨率为 5km(MOD05 中 1km 分辨率的水汽含量数据集值为空),为了尽可能提高计算精度,本文利用 MODIS 和 HJ 1B 卫星数据经纬度对应的关系编程求得对应于每个 HJ 1B 数据像元的大气可降水量如图 1 所示。

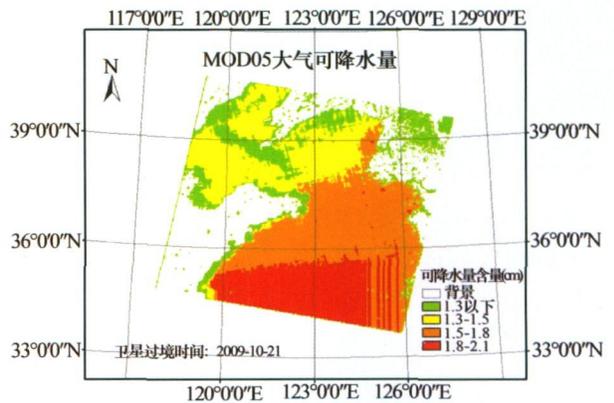


图 1 大气可降水量

### 5 反演结果与精度检验

#### 5.1 反演结果

用 Jimenez Munoz 和 Sobrino 提出的单通道模型进行温度反演,结果如图 2 所示。

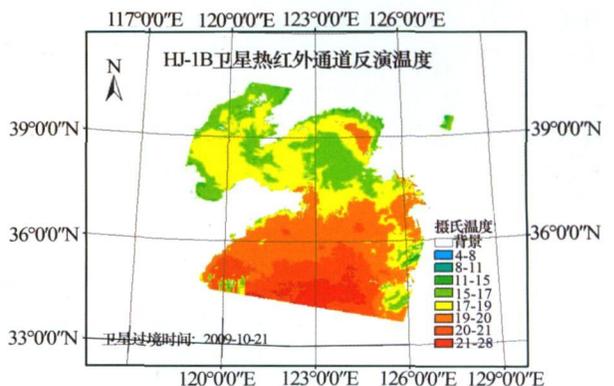


图 2 HJ 1B 卫星反演温度专题图

由于所选数据时间为上午 10: 45, 而这个时段也正属于升温的时段, 靠近陆地的水表温度相对较低达 10℃左右, 而且纬度值偏小的地方温度相对较高, 最高值达 20℃以上。

### 5.2 精度检验

目前对地表温度反演算法的实际精度检验是反演方法中的一个难点, 很重要的原因在于很难得到与影像成像时刻对应的实测数据, 而且就算有实测数据, 而用一个或几个点的实测温度数据来代表一个像元对应几公里范围内的温度也很不合适。这里我们选用 TERRA/ MODIS SST 产品来验证文中算法反演结果。图 3 是 HJ-1B 反演温度与 MODIS 温度产品比较图。

最后, 文中所选 TERRA/ MODIS SST 温度产品与 HJ-1B 卫星数据过境时间接近, 两者过境时间同步性比较好, 在相隔的时间内水汽含量会发生一定的变化, 但从 HJ-1B 卫星可见光数据看到当时研究区天气良好, 云很少, 所以认为在没有获得同步实测数据的情况下, 文中所选的验证数据是合理的。

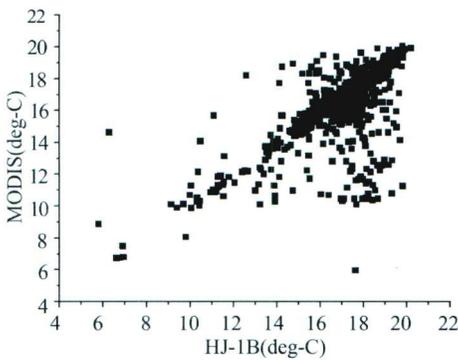


图 3 HJ-1B 卫星反演温度与 MODIS 温度产品比较图

根据经纬度的不同, 均匀地抽取了 1211 个相互匹配的点进行比较分析, 可看出环境卫星反演的温度相对较高, 有部分点的偏差比较大, 最大的可达十几摄氏度。主要原因可分析如下:

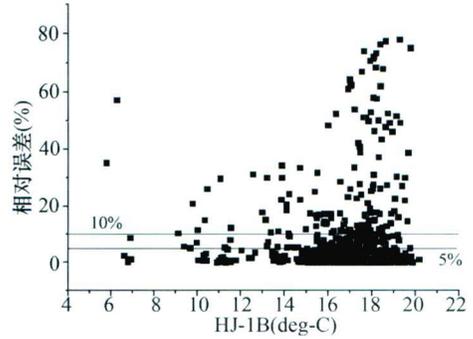


图 4 相对误差分布图

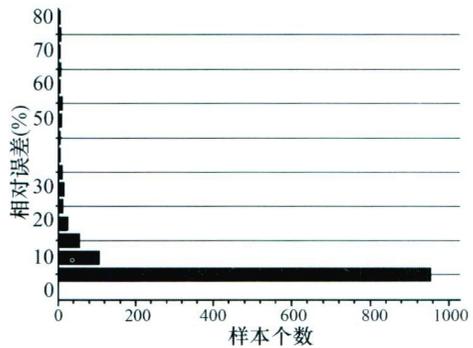


图 5 样本直方图

(1) 在用经纬度匹配选取水汽含量时, 和环境星数据对应的 MOD 05 产品位置处值为 0, 即这个位置处不受水汽影响, 从而导致部分像元温度值升高。

(2) 环境卫星热红外通道分辨率为 300m, 而 MODIS 为 1km, 因为热红外像元记录的是对应地面物体表面的辐射亮度, 所以分辨率尺度不同会导致像元接收到的辐射亮度也可能不同, 通过反演得到的结果会有偏差。

从图 4 相对误差的分布分析得出, 相对误差在 5% 以下的点占 78.695%, 在 5%~ 10% 之间的点占 8.67%, 在 10% 以上的点占 12.635%, 统计结果如图 5 所示。

## 6 结束语

文中利用 MODTRAN4 建立了 HJ-1B 卫星辐亮度与亮度温度的查找表, 并对 Jimenez Munoz 和 Sorbrino 提出的模型进行了修正, 来满足 HJ-1B 卫星数据反演要求, 从而反演出结果。在没有实时的温度数据进行验证的情况下, 文中选用了 MODIS 温度产品来进行验证, 结果表明选取的样本数据中相对误差在 5% 以下的点占 78.695%, 在 5%~ 10% 之间的点占 8.67%, 在 10% 以上的点占 12.635%。本文用国产 HJ-1B 卫星数据反演水表面温度并与 MODIS 温度产品进行对比分析以期能够推动国产 HJ-1B 卫星数据的广泛应用。

## 参考文献

[1] 党顺行, 杨崇俊, 王宇飞. 卫星遥感海表温度反演研究[J]. 高技术通讯, 2001(3): 49- 52.  
 [2] 毛克彪, 覃志豪, 施建成. 用 MODIS 影像和劈窗算法反演山东半岛的地表温度[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(1): 46- 50.  
 [3] 覃志豪, zhang Minghua, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(7): 457- 466.

- [4] 中国资源卫星应用中心[EB/OL]. <http://www.cresda.com>, 2008.
- [5] Jimenez Munoz J C, Sobrino J A. A generalized single channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003(108)(doi:10.1029/2003JD003480).
- [6] 赵英时,等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社. 2003. 6
- [7] Mcfeeters S K. The use of normalized difference water index(NDWI) in the delineation of open water features[J], International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425- 1432.
- [8] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589- 595.
- [9] Qin. Z, Karnieli. A, Berliner. P. A monowindow algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 2(18): 317- 3746.
- [10] 段四波, 阎广建, 钱永刚, 等. 利用 HJ 1B 模拟数据反演地表温度的两种单通道算法[J]. 自然科学进展, 2008, 18(9): 1001- 1008.
- [11] 刘三超, 柳钦火, 高懋芳, 等. 波谱响应函数和波宽对地表温度反演的影响[J]. 遥感信息, 2007(5): 3- 6.
- [12] LIU W Y, FIELD R T, GANTT R G, et al. Measurement of the surface emissivity of turbid waters[J]. Remote Sensing of Environment, 1987, 21(1): 97- 109.
- [13] 毛克彪, 覃志豪. 用 MODIS 影像反演环渤海地区的大气水汽含量[J]. 遥感信息, 2004(4): 47- 48.
- [14] 刘三超, 高懋芳, 柳钦火, 等. 高光谱数据反演大气水汽研究[J]. 遥感信息, 2009(3): 11- 14.

### 俄罗斯航天活动成果的应用

航天活动成果的应用——这不仅仅指的是“社会全球卫星导航系统”项目。近几年来, 俄罗斯积极制定了各种航天活动成果的实际应用规划。为了完成这些任务, 2008年5月, 根据俄罗斯航天署的倡议成立了一个开放式股份公司“科研生产公司 REKOD”(Open joint stock company Research and production corporation(«REKOD»))。开放式股份公司“科研生产公司‘REKOD’”是俄罗斯唯一一家专门从事综合利用航天活动成果的企业, 同时还是俄罗斯航天署在利用航天活动成果领域筹备和实施各种联合协议、规划、方案的重点单位和全权代表。俄罗斯联邦国家权力机构、俄罗斯联邦主体权力执行机构、地方自治机构、法人和自然人, 以及外国企业和代表都可能成为科研生产公司“REKOD”的服务对象。科研生产公司“REKOD”在航天活动成果应用领域从事经营活动, 涉及以下几个主要方向:

(1) 在利用航天活动成果的基础上研制和实施联邦级、地区级及市级各种专项规划和方案。

(2) 针对各种终端用户, 对创建、推广和操作导航信息系统、地理信息系统及其它系统、综合工程、解决方案进行科学研究和实验设计工作。

(3) 提供(安装、调试和维修)“航天服务中心”软硬件成套设备或“航天服务中心”组件。

(4) 以“交钥匙”的形式提供基于全球导航系统/GPS技术的精确定位系统、重要设施监控系统、交通监控系统。

(5) 在航天活动成果应用领域提供咨询及其它服务。

目前, 科研生产公司“REKOD”正在实施并准备推广下列创新项目:

①“太空桥”利用全球导航系统/GPS预测大型桥梁设施状态的卫星监控系统; ②“地区-全球卫星导航系统”以带有客户端应用程序的全球导航系统/GPS为基础的地区间高精度定位系统; ③“太空安全走廊”通过使用GLONASS/GPS系统为道路安全、交通流量、交通管理和联邦公路货物运输提供保障的卫星监控系统; ④“太空水力发电站”通过使用GLONASS/GPS系统对大型水力技术设施进行监测的卫星监控系统; ⑤“太空山路”通过使用GLONASS/GPS系统为山路安全提供保障的卫星监控系统; ⑥“太空铁路”通过使用GLONASS/GPS系统对铁路运营时可能发生的自然及人为灾害(包括山崩、雪崩、泥石流和岩崩)进行预测的卫星监控系统; ⑦“太空体育馆”通过使用GLONASS/GPS系统对大型体育设施进行监测的卫星监控系统; ⑧“太空公园”一种典型的对自然保护区状态进行监测的卫星监控系统。

建立标准“太空服务中心”网是科研生产公司“REKOD”在2010年最具发展前景的新的经营方向, 该公司开始在俄罗斯各地区设立这种“太空服务中心”。到目前为止, 有5个“中心”正处于不同的建设阶段, 这5个中心分别位于俄罗斯联邦经济最发达的城市中——莫斯科、卡卢加、索契、梁赞和基洛夫。由于研发和推广标准的“太空服务中心”, 科研生产公司“REKOD”荣获了“最佳创新方案”一级金质奖章。