ГИГАНТСКИЕ ИМПУЛЬСЫ ПУЛЬСАРОВ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭТАЛОНОВ ВРЕМЕНИ

Ю.П. Илясов, В.И. Кондратьев, В.В. Орешко ,
М.В. Попов , В.А. Согласнов

- Обсуждается возможность высокоточного сличения часов, разнесенных на большие расстояния, с помощью гигантских импульсов пульсаров.
- В состав аппаратуры входят: радиотелескоп сравнительно небольшого размера и цифровой широкополосный регистратор.
- Рассматриваются основные источники погрешностей синхронизации разнесенных часов.
- Предлагается использовать гигантские импульсы для фиксации моментов в шкале Пульсарного времени.

Сессия АКЦ ФИАН
08.02. 2007
ПУЩИНО

МЕТОДЫ СЛИЧЕНИЯ РАЗНЕСЕННЫХ ЧАСОВ

МЕТОД СЛИЧЕНИЯ		РАССТОЯНИЕ км	ПОГРЕШНОСТЬ нс
РАДИОЛОКАЦИЯ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ	1)	500 ÷ 1500	500 ÷1000
ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ КАНАЛЫ	1)	50 ÷ 200	100 ÷ 500
ВОЗИМЫЕ КВАНТОВЫЕ ЧАСЫ	2)	1000 ÷ 16000	10 ÷ 50
НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (LORAN-C)	2)	1000 ÷2000	500 ÷ 1000
СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ GPS, ГЛОНАСС	2)	100 ÷ 12000	1 ÷ 10
МЕЖКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ РСДБ – СИСТЕМЫ	2)	100 ÷12000	0,01 ÷ 0,1
ПУЛЬСАРЫ – ГИГАНТСКИЕ ИМПУЛЬСЫ		100 ÷ 12000	0,1 ÷ 2

1) Г.Н.Палий, Е.В. Артемьева Синхронизация высокоточных мер времени и частоты. М. «Издат. .Стандартов» 1976,с.168
2) C.Audoin, B.Guinot. “Les Fondements de la Mesure du Temps” Paris, Masson. 1998
(перевод «Измерение времени.» М. Техносфера 2002, с.399)

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ

ПРИ ГОСУДАРСТВЕННОМ КОМИТЕТЕ СССР ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

(ГОСКОМИЗОБРЕТЕНИЙ)

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1669301

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Госкомизобретений выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:

"Устройство синхронизации шкал времени по сигналам пульсара"

Автор (авторы): Илясов Юрий Петрович и другие, указанные в описании

Заявитель:

Заявка № 4450967 Приоритет изобретения 4 июля 1988г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР

8 апреля 1991г.

Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела

Авторы:

Ильин В.Г.

Илясов Ю.П.

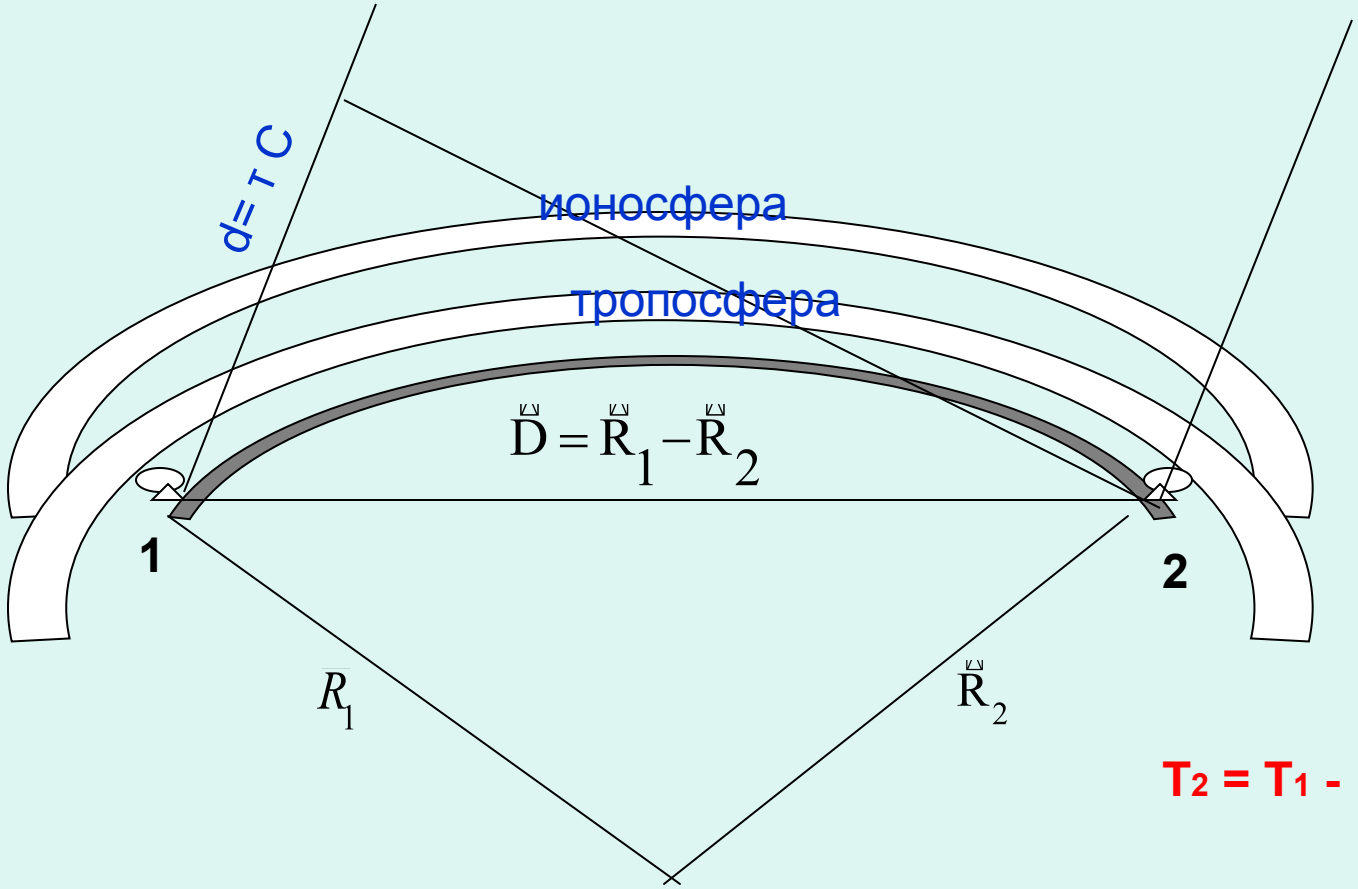
Кузьмин А.Д.

Смирнова Т.В.

Федоров Ю.А.

«УСТРОЙСТВО СИНХРОНИЗАЦИИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ ПО СИГНАЛАМ ПУЛЬСАРА»

АС выдано 08.04.1991г.
(приоритет от 04.07.1988г.)



$T_2 = T_1 - \tau$

$$d = \tau C = D \cos\psi \cos\delta \sin t + D \sin\psi \sin\delta$$

- $t = T_{зв} - \alpha$ – часовой угол пульсара на «среднем» меридиане
- α, δ – координаты пульсара
- D, ψ - длина базы и угол ее наклона к плоскости экватора

СЛИЧЕНИЕ ЧАСОВ В КАЛЯЗИНЕ И КАШИМЕ

PSR	КАШИМА Гринвич. Звездное. Время GST час		КАЛЯЗИН Гринвич. Звездное. Время GST час		ИНТЕРВАЛ НАБЛЮДЕНИЙ GST час		ПРОДОЛЖ. СЕАНСА час
	ВОСХ	ЗАХОД	ВОСХ	ЗАХОД	НАЧАЛО	КОНЕЦ	
B0531+21	10,25	19,50	23,59	16,46	10,25	16,46	**6ч 12 мин**
B1937+21	0,37	9,62	13,7	6,56	0,37	6,56	**6ч 12 мин**

Пункт	Вост. Долгота	Сев. Широта	БАЗА км
КАЛЯЗИН	37 гр 54 мин	57 гр 13 мин	7015 км
КАШИМА	140 гр 40 мин	35 гр 57 мин	

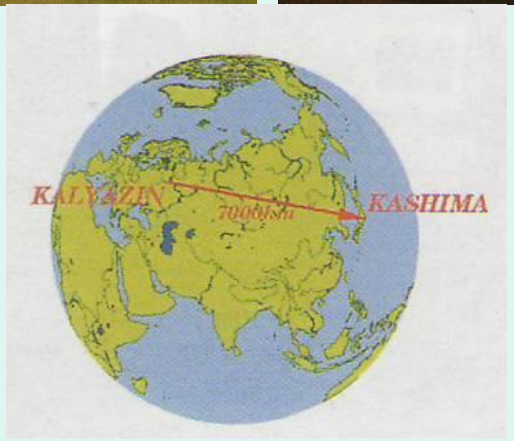
PSR	α_{B1950}	$\delta_{B1950.0}$
B0531+21	05: 31: 31.405	+21: 58: 54.39
B1937+21	19: 37: 28.74368	+21: 28: 01.3510

КАЛЯЗИН

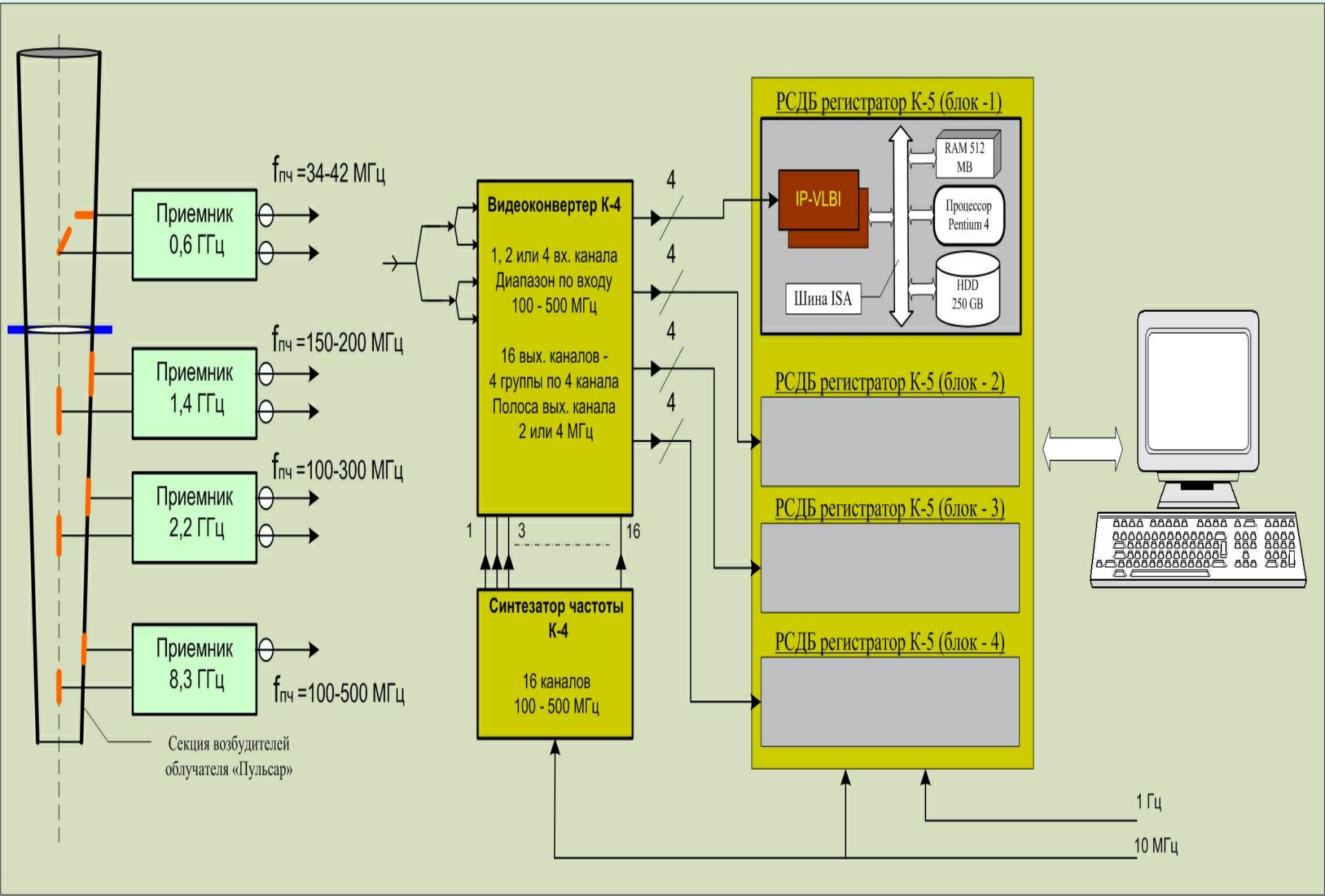
РТ – 64

КАШИМА

РТ- 34

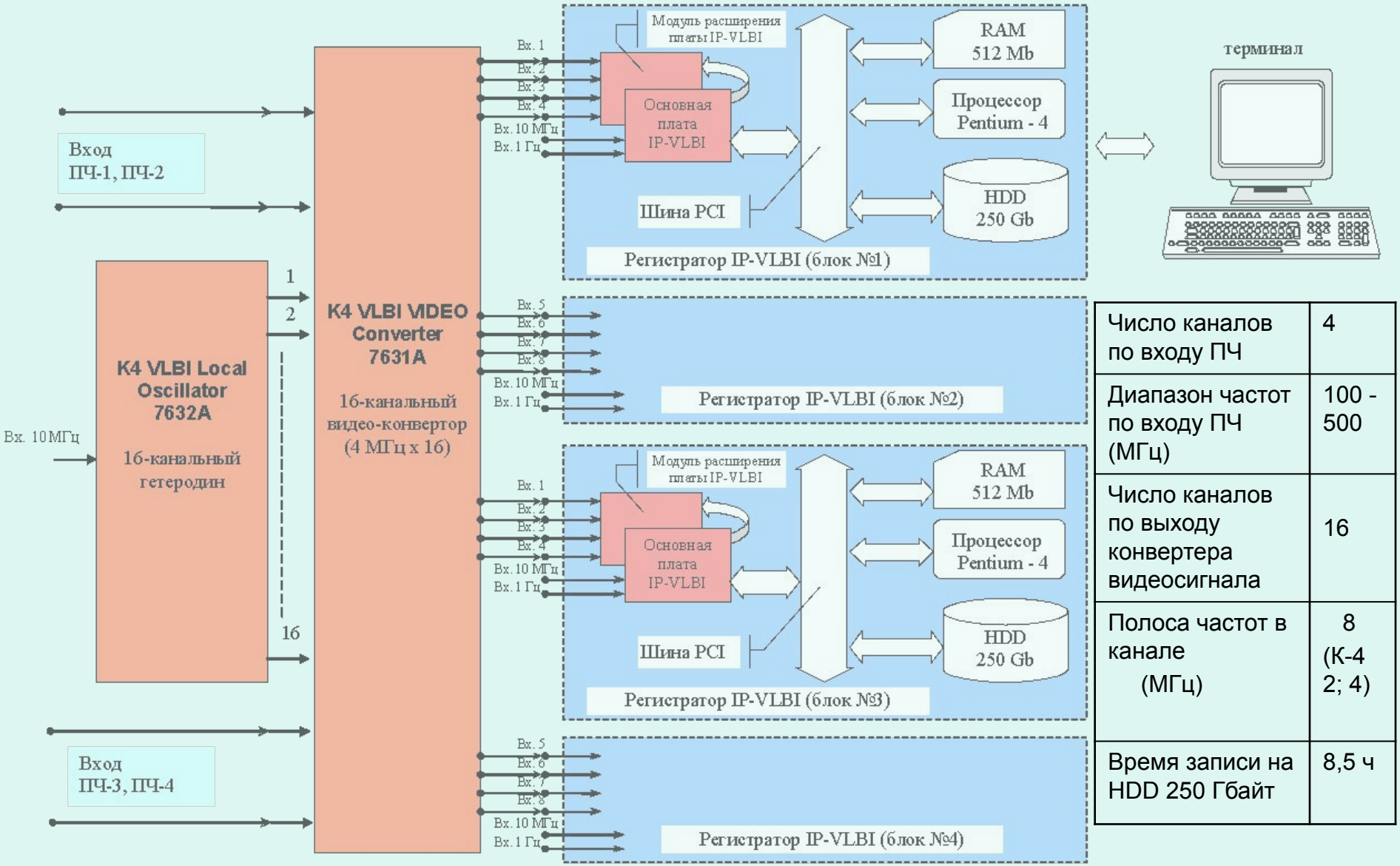


КАЛЯЗИНСКИЙ ПУЛЬСАРНЫЙ КОМПЛЕКС ПРАО ФИАН С РЕГИСТРАТОРОМ К -5



РСДБ комплекс К-5 для регистрации ГИ пульсаров

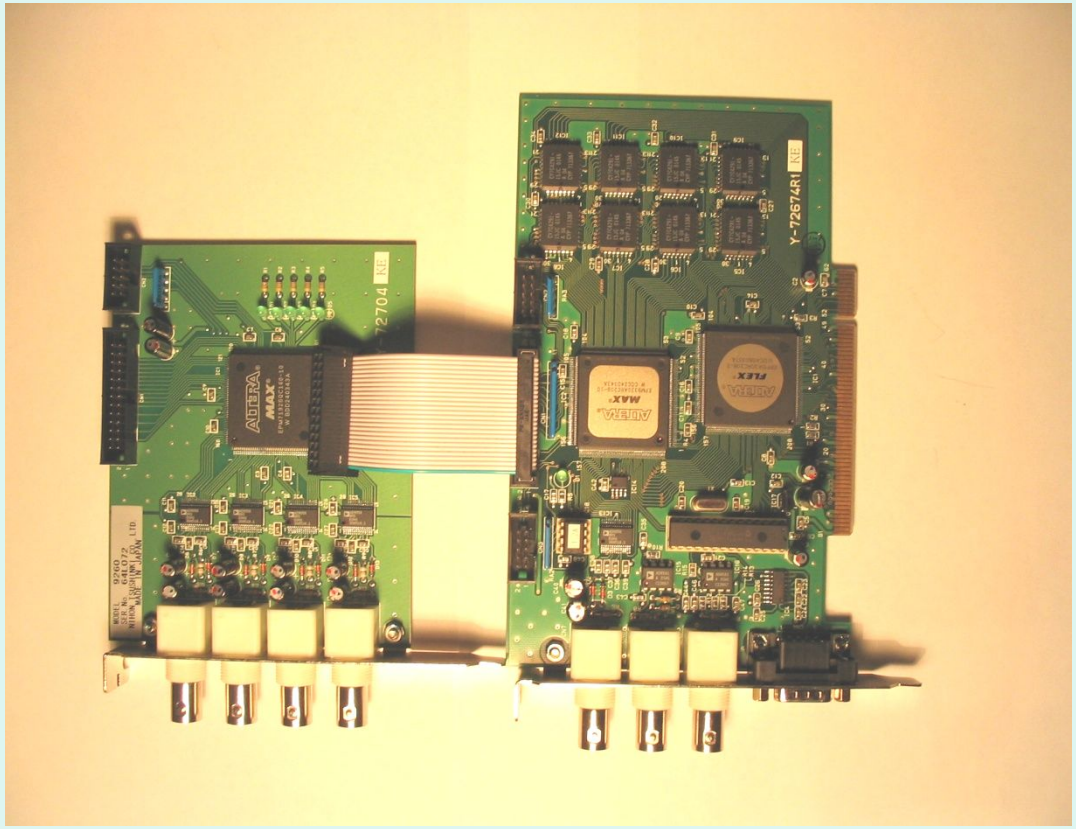
(временно в Калязине видео-конвертер К-4 - полоса 64 МГц)



Число каналов по входу ПЧ	4
Диапазон частот по входу ПЧ (МГц)	100 - 500
Число каналов по выходу конвертера видеосигнала	16
Полоса частот в канале (МГц)	8 (К-4 2; 4)
Время записи на HDD 250 Гбайт	8,5 ч

БЛОК РЕГИСТРАТОРА IP-VLBI K-5 (NICT, Japan)

(4 канала по 8 МГц на канал)

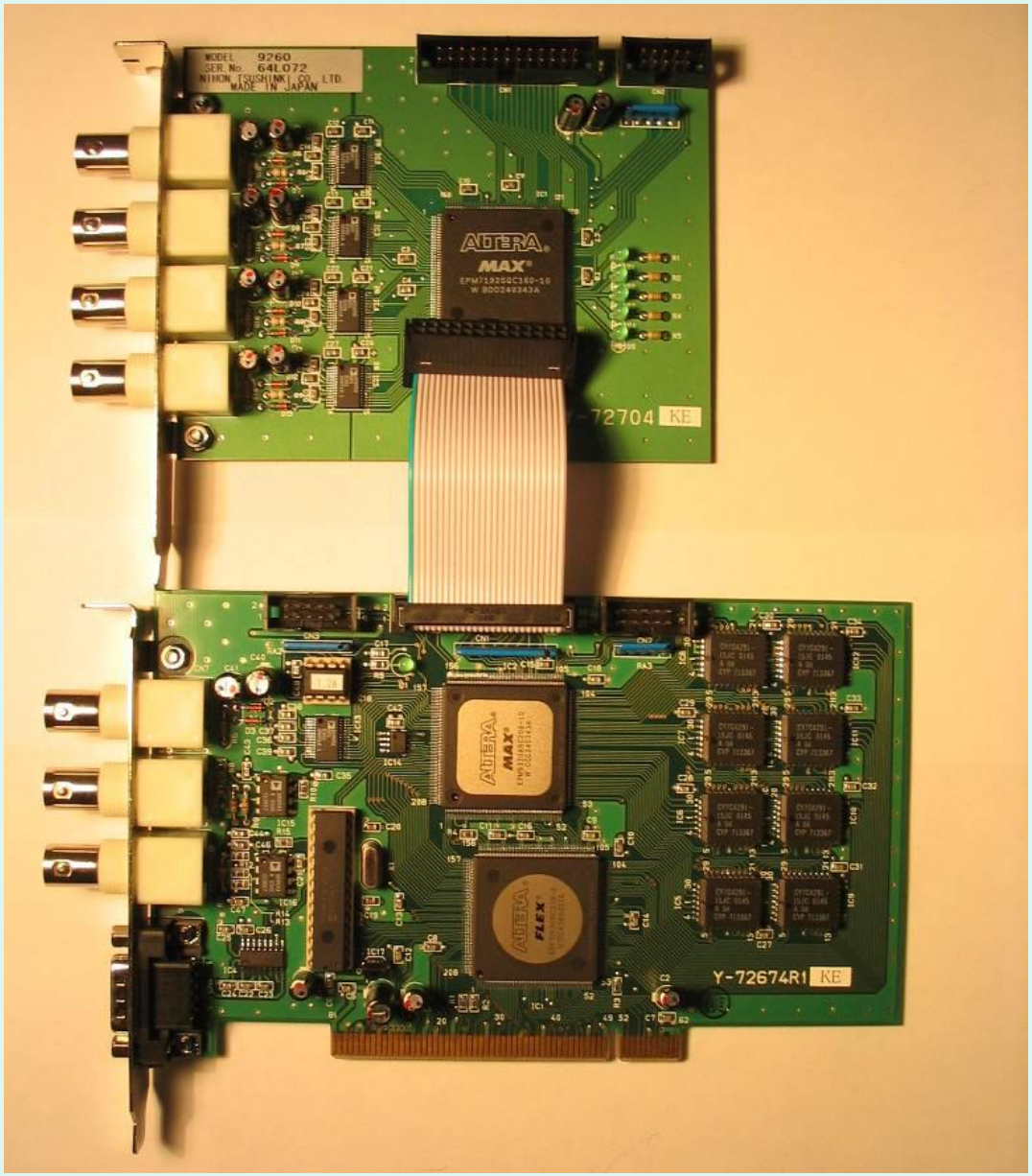


Число входных каналов	1 или 4
Частота дискретизации в канале	40 кГц - 16 МГц
Число уровней квантования	1; 2; 4; 8 бит
Максимальный поток данных	64 Мб/с
Синхронизация	1 Гц; 10 МГц
Запись данных	HDD или TCP/IP

* *Kondo, T., Y. Koyama, J. Nakajima, M. Sekido, and H. Osaki,* ***Internet VLBI System Based on the PC-VSSP (IP-VLBI) Board****, IVS Symposium in Korea New Technology in VLBI, 5* ***Nov.2002.***

ПЛАТА БЛОКА K-5 VLBI (1/4 канала – 8 МГц/канал)

(NICT, Japan)

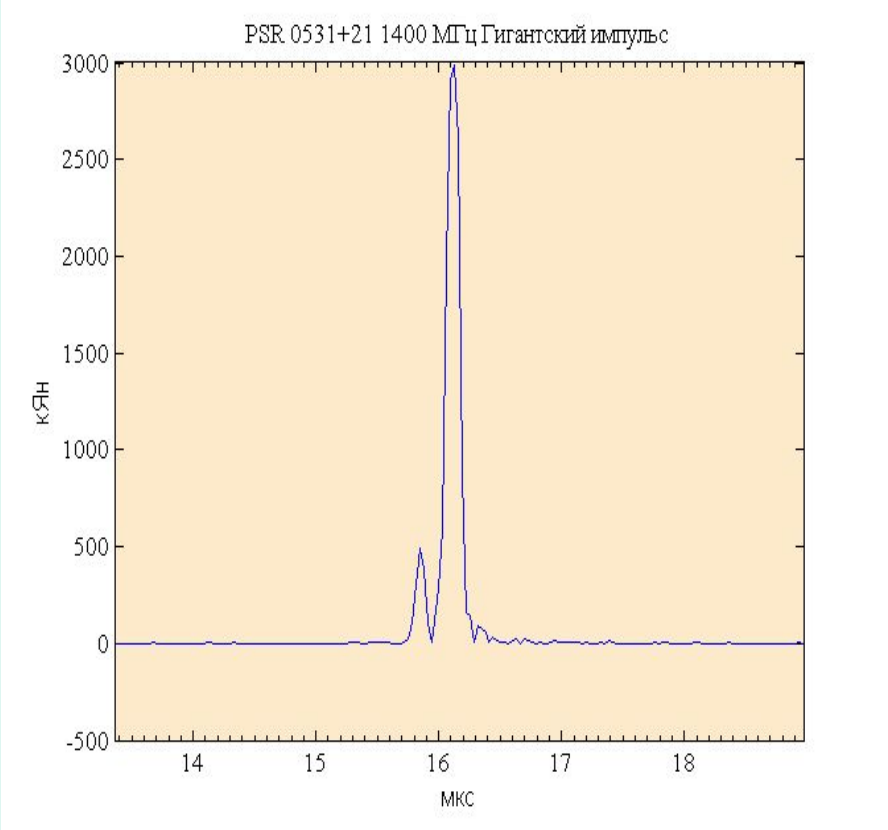


IP – VLBI K-5 – регистратор в Калязине

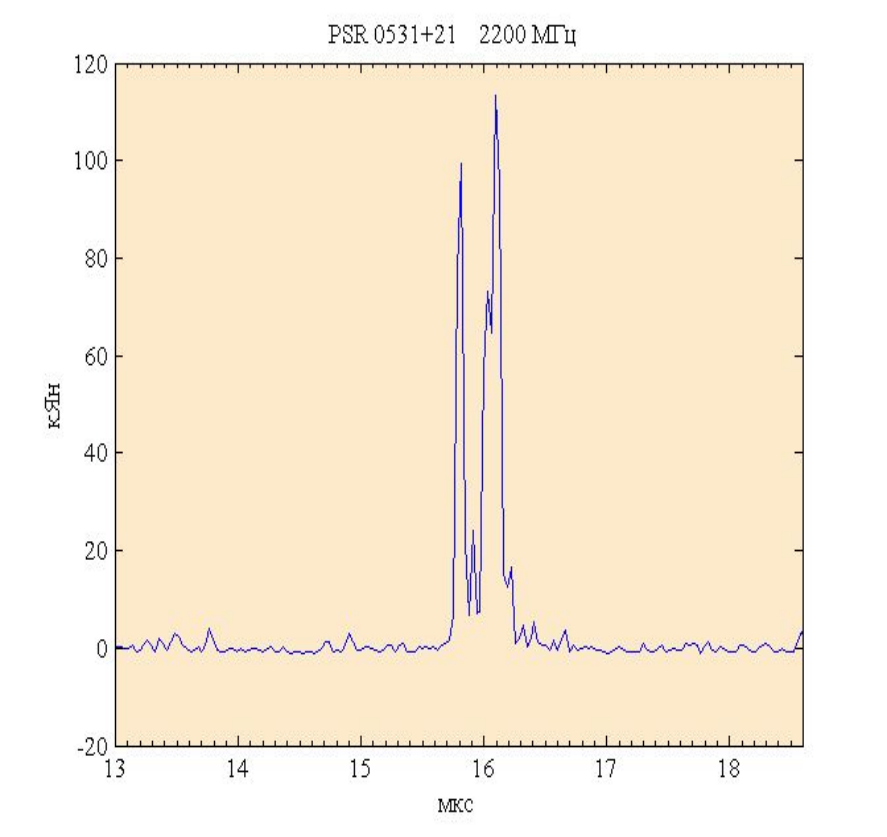
(в настоящее время полоса 64 МГц)

НОВЫЙ РСДБ - комплекс в Калязине на основе К-5 IP- VLBI и видео-конвертера К- 4 (полоса 64 МГц)

ГИГАНТСКИЙ ИМПУЛЬС ПУЛЬСАРА B0531+21 (“Краб”)
(Калязин, частоты 1400 и 2200 МГц)

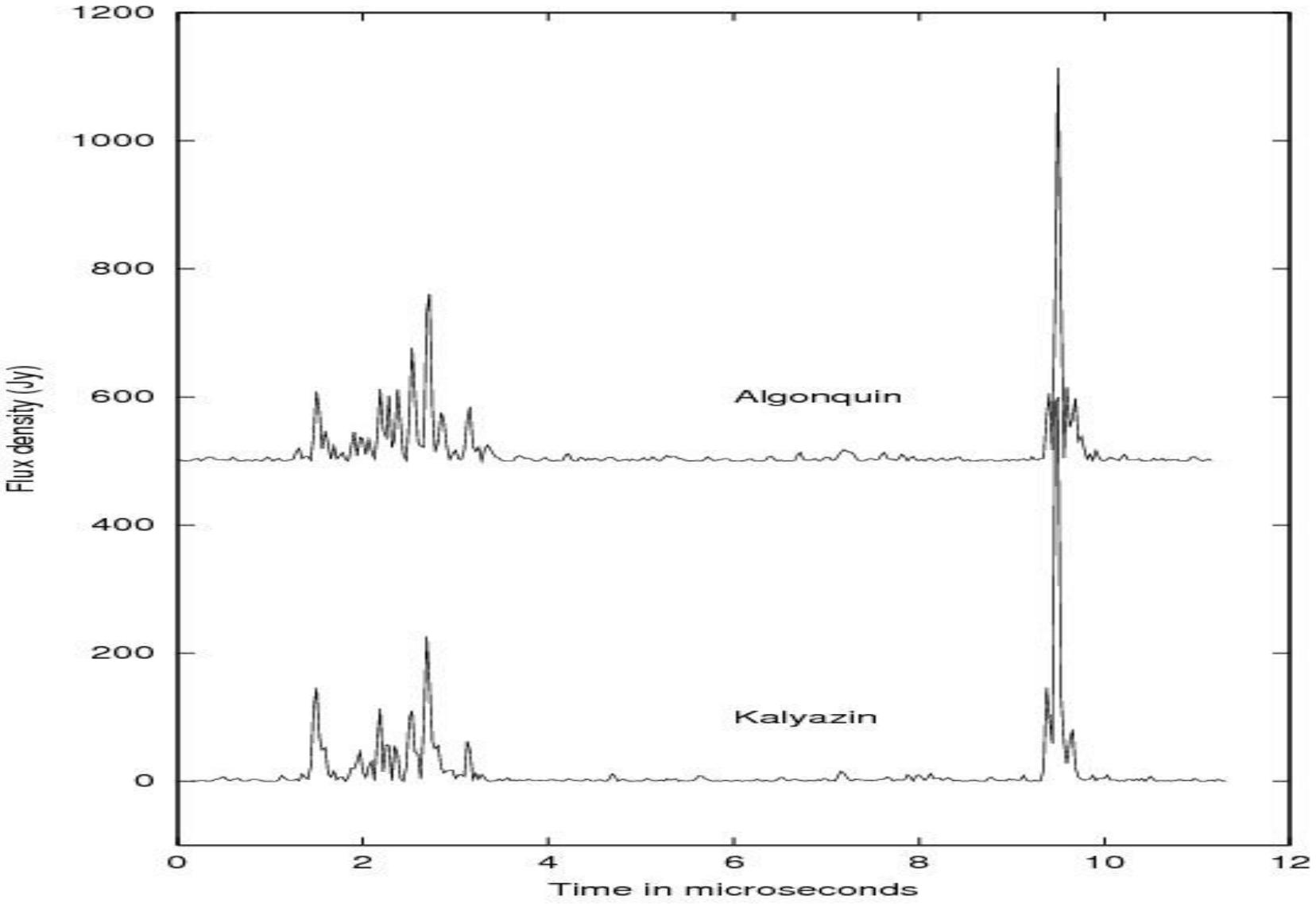


1400 МГц

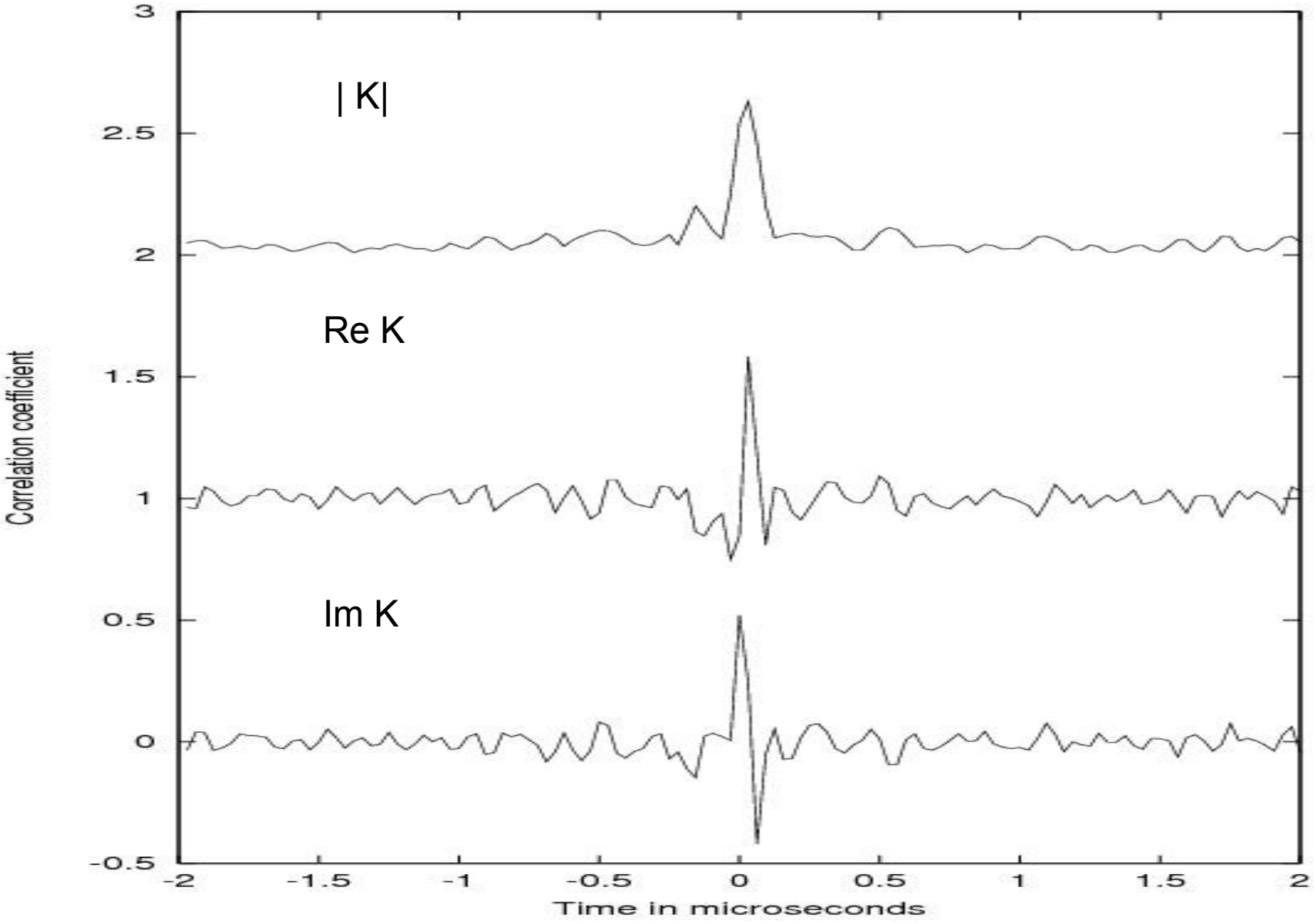


2200 МГц

ГИ пульсара B0531+21 («Краб»). Одновременная регистрация в Калязине (Россия) и Алгонкуин Парк (Канада) на 2,2 ГГц.



Кросс-корелляция ГИ пульсара B0531+21 («Краб»). Одновременная регистрация в Калязине (Россия) и Алгонкуин Парк (Канада) на 2,2 ГГц



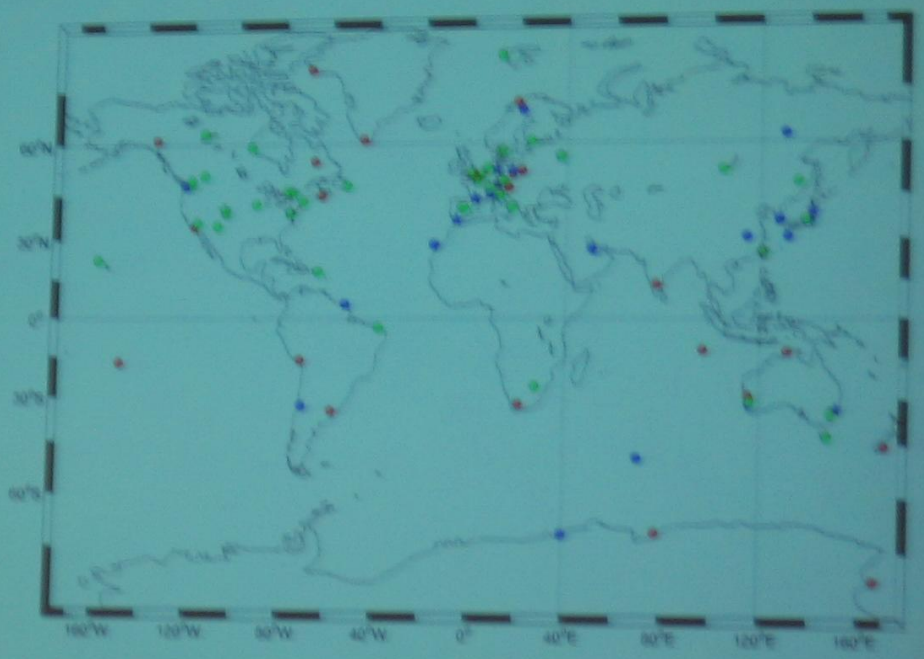
ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ ГИ и ПИКОВЫЕ ПОТОКИ B0531+21 (по результатам мониторинга в КРАО)

ЧАСТОТА ГГц	S_{pic} Jy	N (за час)
0,6	$> (0,3 - 1,0)10^6$	6 - 7
4,85	$> 10^4$	2 - 3

IGS High Performance Clocks

Time Labs

IGS Site	Time Lab	Freq. Std.	Location
AMC2	AMC	Hdiaser	Colorado Springs, CO USA
BOR1	AOS	Cesium	Borowiec, Poland
BRUS	ORB	Hdiaser	Brussels, Belgium
IENG	IEN	Cesium	Torino, Italy
KGNO	CRL	Cesium	Koganei, Japan
MDVJ	VNIIM	Hdiaser	Mendeleevo, Russia
MIZU	NRO	Cesium	Mizusawa, Japan
NIST	NIST	Hdiaser	Boulder, CO USA
NPLD	NPL	Hdiaser	Teddington, UK
NRC1	NRC	Hdiaser	Ottawa, Canada
NRC2	NRC	Hdiaser	Ottawa, Canada
OBE2	DLR	Rubidium	Oberpfaffenhofen, Germany
OPMT	OP	Hdiaser	Paris, France
PENC	SGO	Rubidium	Penc, Hungary
PTBB	PTB	Hdiaser	Braunschweig, Germany
SFER	ROA	Cesium	San Fernando, Spain
SPT0	SP	Cesium	Boras, Sweden
SYDN	NMI	Cesium	Sydney, Australia
TLSE	CNES	Cesium	Toulouse, France
TWTF	TL	Cesium	Taoyuan, Taiwan
USNO	USNO	Hdiaser	Washington, DC USA
USNO	USNO	Hdiaser	Washington, DC USA
WAB2		Hdiaser	Bern, Switzerland
WTZA			Wettzell, Germany
WTZR			Wettzell, Germany



- masers (54)
- cesiums (32)
- rubidiums (27)

★ time lab stations (25)

+ GPS space clocks ...

UTC-UTC(K)

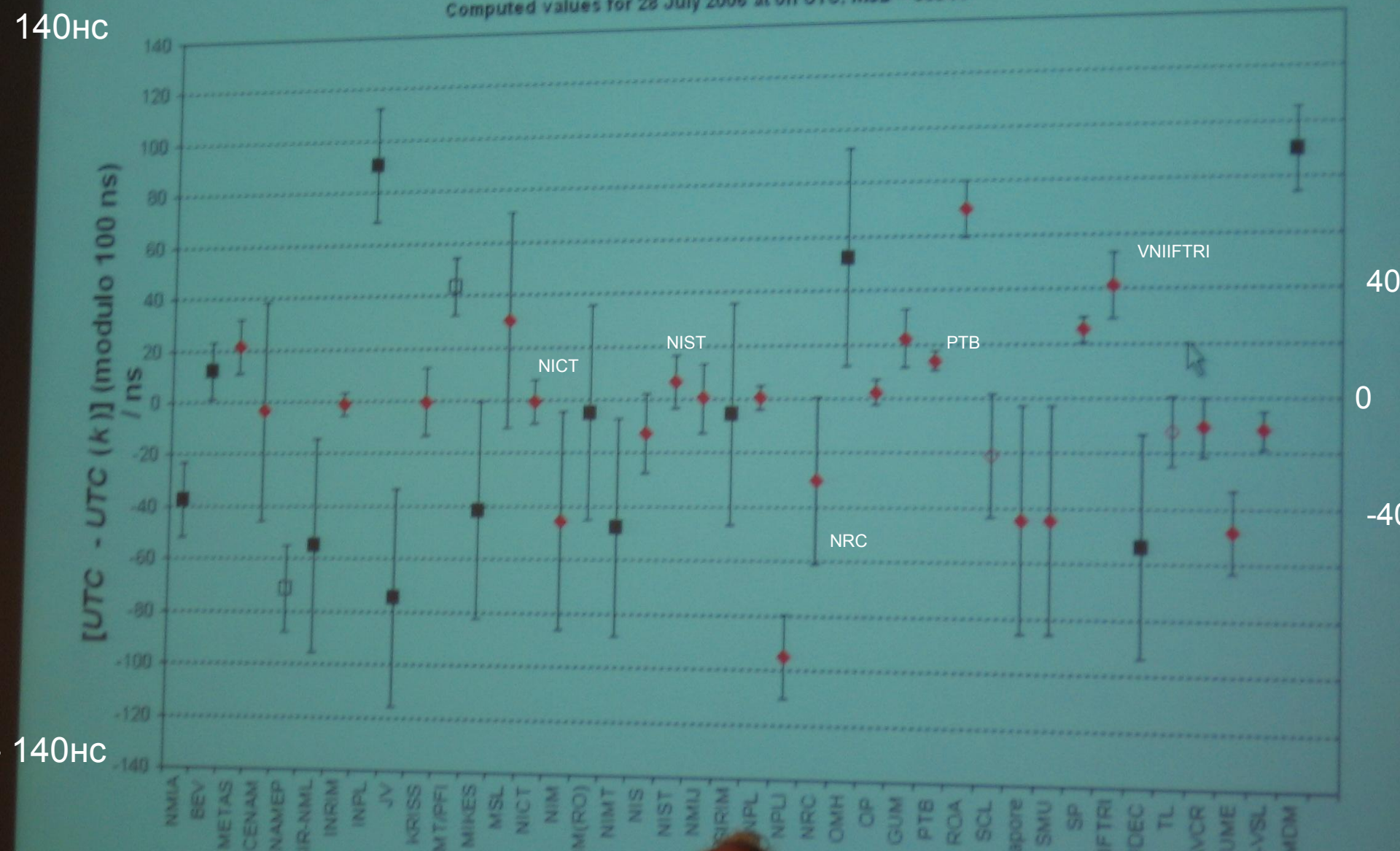
28.07.2006

17th CCTF Meeting 14 & 15 September 2006
Report of the WG on MRA

CCTF-K2001.UTC Calculation of UTC

Degrees of equivalence: [*UTC - UTC(k)*] and its expanded uncertainty ($U_A = 2u_A$)

Computed values for 28 July 2006 at 0h UTC, MJD = 53944



РАДИОТЕЛЕСКОП **РТ-16 (ТНА-16) ОКБ МЭИ**

Диаметр рефлектора - 16 м

Вторичное зеркало - 1,0 м

(система Кассегрена)

Минимальная раб. Волна -2 см

КИП - 0,60

Шумовая температура – 20К

Погрешн. наведения -30уг.сек

Скорость переустановки (макс)

20гр/мин

Отношение С\Ш - N = 400

Поток ГИ 1 МЯн

Полоса 128 МГц

Постоянная времени 0,1нс

ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ СЛИЧЕНИЯ ЧАСОВ (БАЗА 10 000 км)

- КООРДИНАТЫ РЕПЕРНОГО ПУЛЬСАРА – ± 0,001 уг.сек - 0,16 нс
- КООРДИНАТЫ ПУНКТОВ СЛИЧЕНИЯ - ± 1 см - 0,03нс
- КООРДИНАТЫ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ - ± 1 см - 0,03 нс
- МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (1/N) ± 0,1 Нс - 0,1нс
- ПОГРЕШНОСТЬ ЗАДЕРЖКИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ:

В ИОНОСФЕРЕ	-	**± 0,15 нс**
В ТРОПОСФЕРЕ	-	**± 0,15 нс**

СУММАРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ:

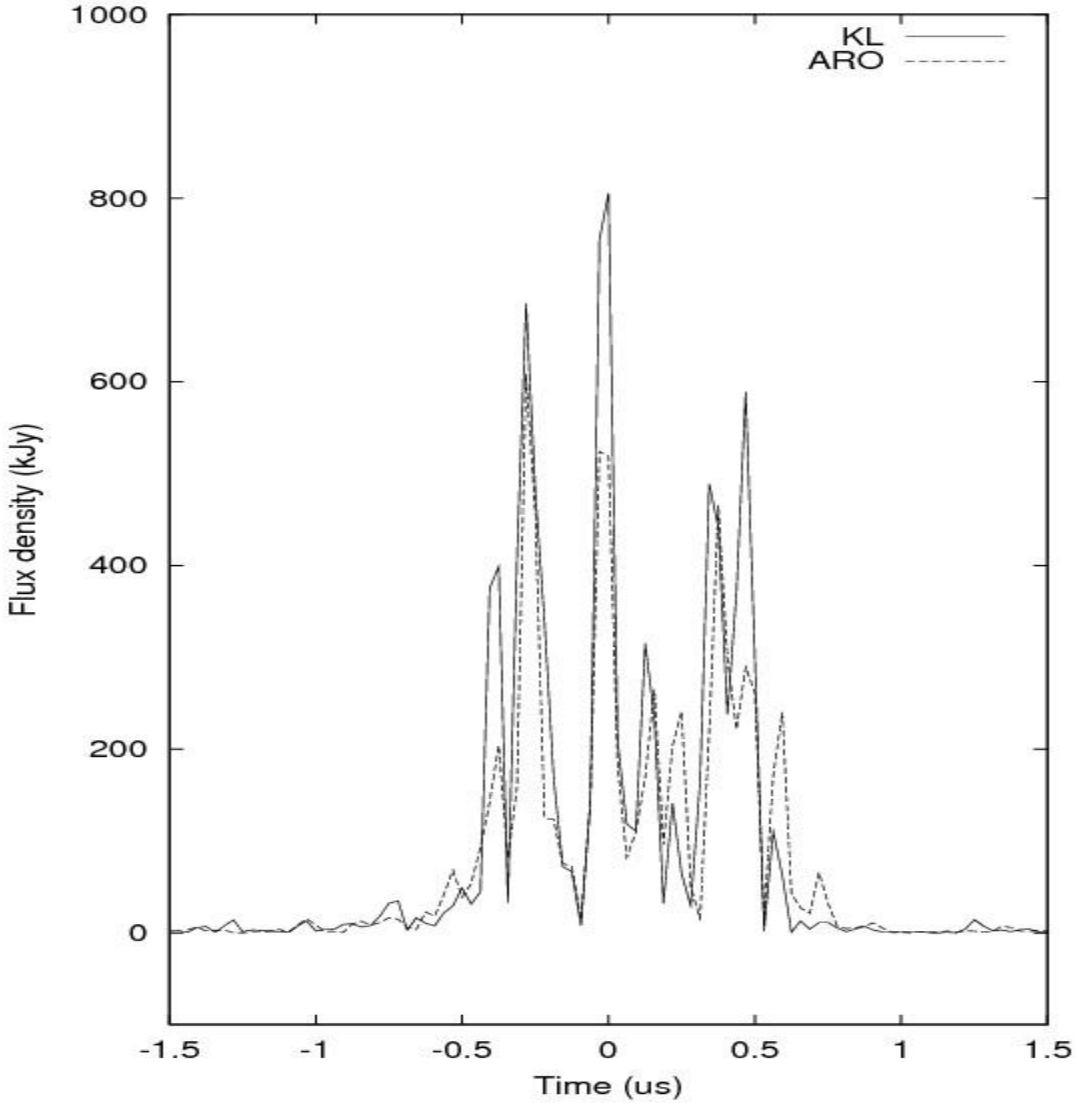
$$\Delta t = (16^2 + 3^2 + 3^2 + 10^2 + 15^2 + 15^2)^{1/2} \cdot 10^{-2} = \pm 0{,}3 \text{ нс}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

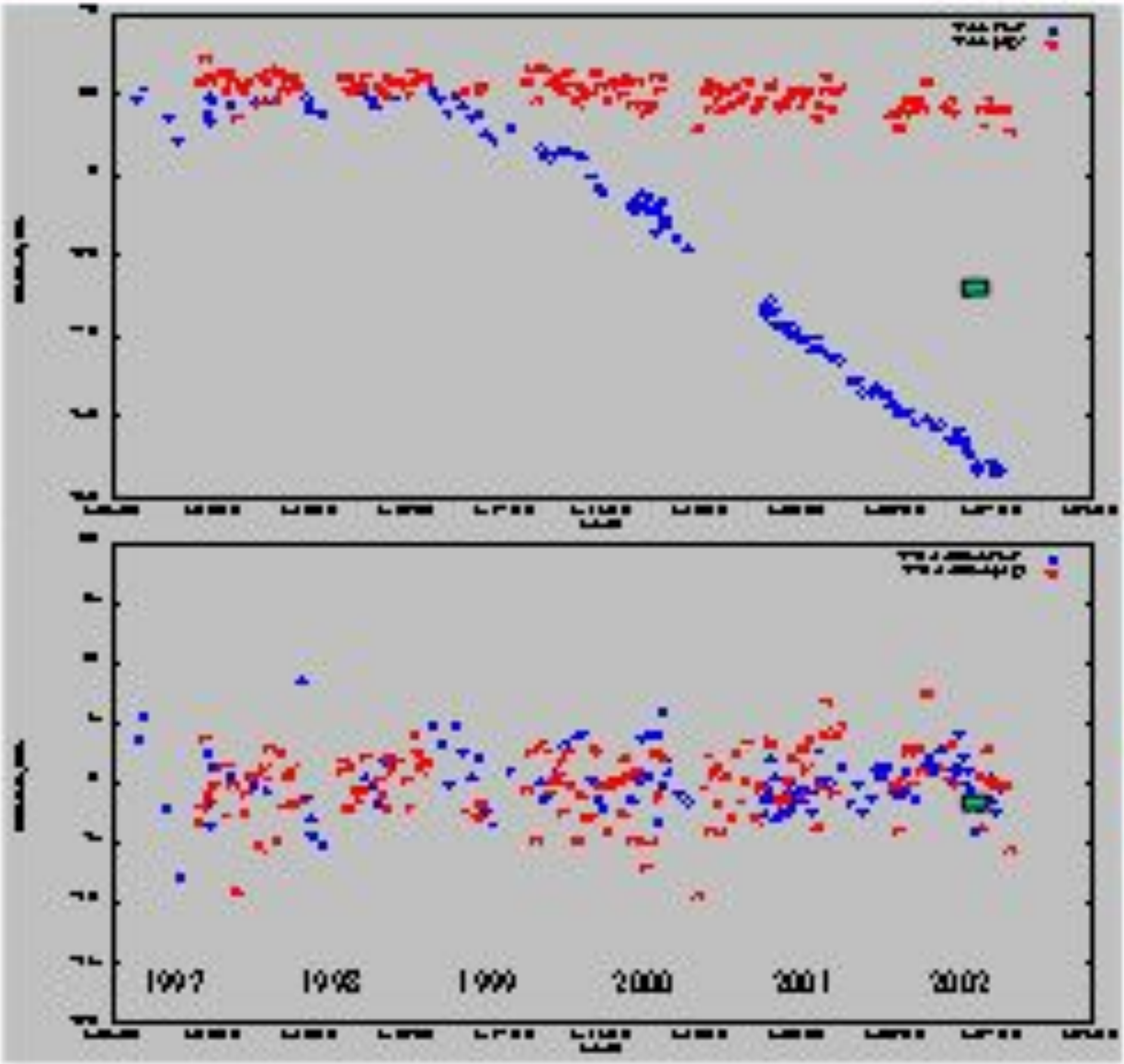
- ГИ реперных пульсаров могут обеспечить сличения часов на межконтинентальных базах с погрешностью 0,5 -1нс.
- Радиотелескоп средних размеров с оборудованием для сличения часов может быть установлен непосредственно у эталонов времени.
- Методы сличения с использованием ГИ могут быть распространены на определение Всемирного времени UT1.
- Координаты реперных пульсаров, излучающих ГИ и используемых для сличения часов, должны быть известны на уровне 0.001 уг.сек.
- Можно рассчитывать на 5 -10 сеансов сличения часов в сутки с использованием пульсара B0531+21 на пунктах с базовыми расстояниями порядка 10 000 км.
- ГИ пульсаров могут быть использованы как реперные моменты при формировании Пульсарной шкалы времени и распространении этой шкалы пользователям.
- Сличение часов по ГИ в «Интернет - режиме» проводится в режиме реального времени (в отличие от РСДБ – технологий) без использования спецкорреляторов.
- Точность сличения часов по ГИ сопоставима с ГЛОНАСС и GPS и несколько уступает РСДБ-методам на межконтинентальных базах.
- ГИ «возвращает» астрономические методы в прецизионные службы

ГК_Межд.2005. Гр.РФФИ 04-02-16384;
06-02-16816

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ !


KL
ARO
1000
800
600
400
200
0
Flux density (kJy)
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Time (us)

Joint Kalyazin-Kashima pulsar 1937+21 timing



Kashima – 2,3 GH
Kalyazin – 0,6 GH
DM_{1997} = 71,03
DM_{2002} = 71,02

Residuals before correction for secu DM variations to B 1937+21

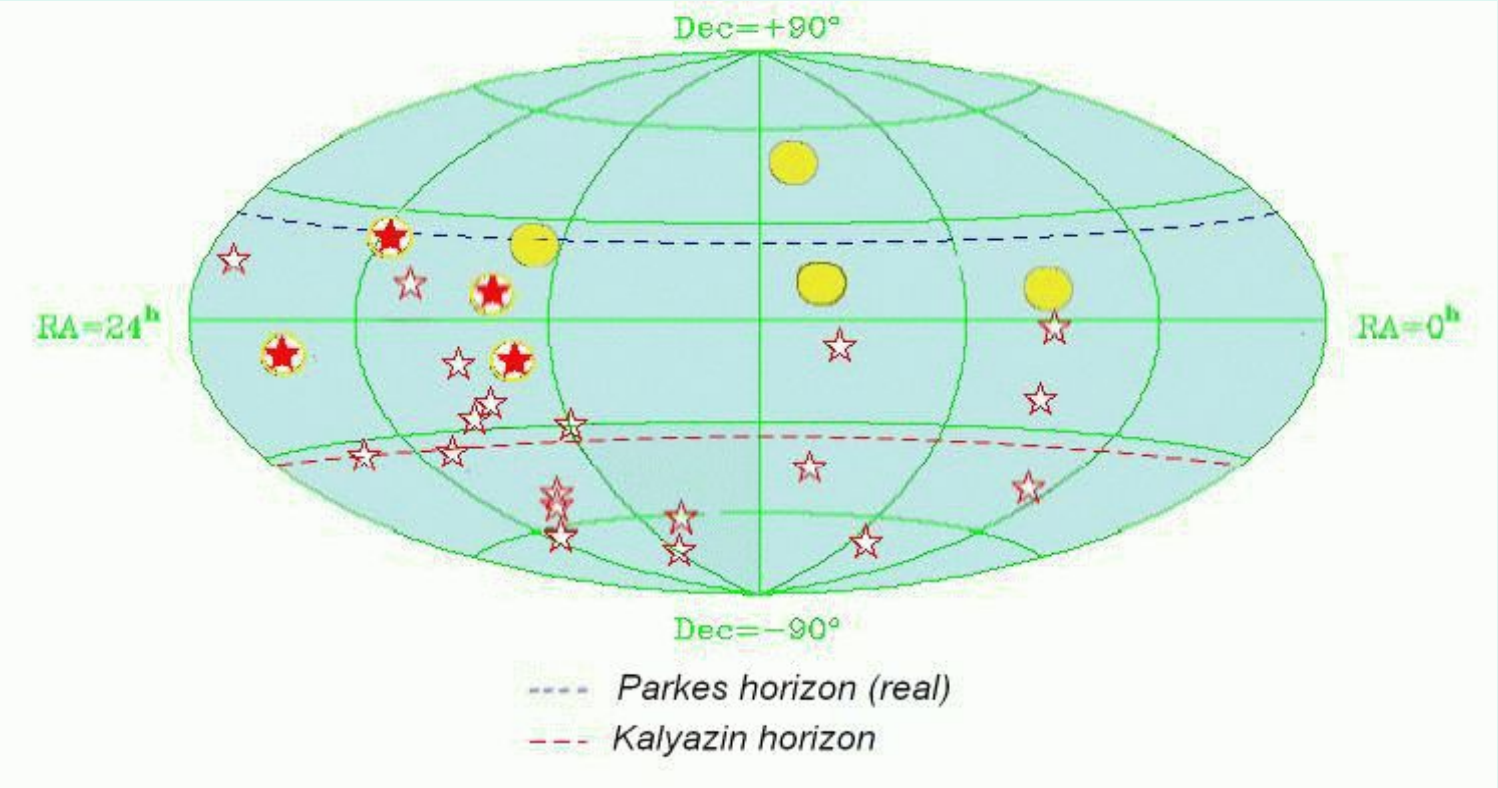
Residuals after correction for secu DM variations to B 1937+21

RMS = 1,8 mcs

$\Delta f/f \sim 9 \cdot 10^{-15}$

Ilyasov, Imae, Hanado, Oreshko, Potapov, Rod Sekido Astron. Lett. S v 31, p 30 (2005)

Millisecond Reference Pulsars for the Sky Allocation



Combined Pulsar Timing Array (PTA): Kalyazin (KPTA)

Parkes (PPTA)