

Отображение свойств астрометрических событийных рядов как референтов времени

© А.Е.Авраменко

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория ФИАН

avr@prao.psn.ru

Аннотация

На примере событийных рядов хронометрирования пульсаров рассмотрена структура и особенности информационных ресурсов, реализующих извлечение и представление свойств пульсаров как высокостабильных хранителей и референтов времени. В терминах, понятиях, отображающих содержание предметной области, сформулированы основные правила, условия, ограничения, действующие при установлении свойств рядов наблюдаемых событий как референтов пульсарного времени. Рассмотрен пакет методов, которые относятся непосредственно к выявлению, тестированию и отображению свойств рядов на основе наблюдаемых пульсарных событий. Приведены результаты реализации правил, методов, полученные численным моделированием предметной области в объектно-ориентированной среде приложения.

1 Введение

Переход от чисто фактологического отображения наблюдательных данных пульсарной коллекции к выявлению и извлечению сущностных свойств рассматриваемой предметной области связан с формированием ее содержательного представления. Для этого, кроме наблюдательных данных, в которых заключены конкретные сведения, численные значения измеряемых величин, в состав требуемых ресурсов должны быть вовлечены компоненты, отображающие понятия, отношения, функциональные зависимости, которые определяют смысл, условия и способы получения содержательных результатов. Речь, следовательно, идет о формировании онтологической базы предметной области, представляющей собой обобщенные знания, формализованные

представления, на основании которых могут быть получены результаты, отождествляемые с характеристиками и свойствами предметной области.

В логическом смысле онтологическая база представляет собой набор типов обобщенных объектов, ориентированных на извлечение и отображение сущностных свойств предметной области. К типам обобщенных объектов относятся:

- термины, факты в связи с их ролью в отображении понятий предметной области;
- правила, условия, ограничения, определяющие отношения понятий;
- функции, методы выявления и представления свойств предметной области.

Первые два типа определяют концептуальную основу онтологической базы, с помощью которой достигается семантическая независимость информационных решений от особенностей их системной, инструментальной реализации [1]. Функции и методы, будучи в известной степени зависимыми от применяемых системных и инструментальных средств, в сочетании с первыми двумя типами поддерживают объектную целостность приложения, функциональную полноту и реализационную достаточность средств извлечения и представления свойств предметной области.

В качестве содержательного ядра предметной области, относящейся к сфере астрометрии, астрофизики, выступает ее численная модель, которая, будучи относительно независимой от деталей конкретных задач, приложений, аккумулирует базовые знания и представления о предметной области как объекте наблюдения, исследования. Выбор модели, типы входящих в нее параметров, переменных определяются наиболее значимыми для данного приложения характеристиками, которые фиксируются в процессе или могут быть получены на основании наблюдений и существенно образом связаны с выявляемыми свойствами наблюдаемых объектов. Чем меньше переменных модели численно зависят от наблюдаемых значений связываемых с ними параметров, тем более надежными, однозначными оказываются установленные результаты, свойства, в меньшей степени зависящими от тех факторов, переменных, которые напрямую не относятся к содержанию рассматриваемого приложения.

Использование объектных информационных технологий в сочетании с компонентной архитектурой ресурсов позволяет, во-первых, консолидировать в программируемой объектно-ориентированной среде промежуточного слоя разнотипные информационные компоненты, относящиеся к содержанию, понятиям предметной области, и, во-вторых, средствами визуального программирования создавать сценарии численного моделирования объектов предметной области.

В результате непосредственно в приложении можно поддерживать весь требуемый набор правил, методов, с помощью которых достигается оптимальное согласование существенных параметров данного приложения, необходимая модификация параметрического пространства предметной области для выявления ее свойств, повторное использование методов и результатов в смежных приложениях [2].

В настоящей работе, относящейся к одному из важных астрометрических приложений пульсарной коллекции, рассматривается пример реализации информационных ресурсов, обеспечивающих получение содержательных результатов проблемно-ориентированного приложения.

Высокая стабильность параметров собственного вращения пульсаров определила возможность использования их в качестве независимых хранителей времени, не подверженных влиянию изменяющихся земных условий [3]. Ведущие зарубежные обсерватории, в частности, U.S. Naval Observatory (USNO), проводят регулярные наблюдения пульсаров, включая прецизионное хронометрирование моментов прихода импульсов (МПИ), формирование долговременных рядов МПИ на многолетних интервалах, признавая их важность и перспективность для исследований и применения [4]. Несмотря на отсутствие устоявшихся технологических решений и не вполне определенную перспективу практического использования в настоящее время, тем не менее, высокая стабильность и воспроизводимость пульсарных событий на практически неограниченных интервалах времени, их органическая принадлежность всеобщему ходу самосогласованных мировых процессов, дает основания сопоставить их с широко используемыми ныне атомными стандартами времени.

Была поставлена задача: каким образом с помощью информационных технологий, располагая лишь выборочными данными хронометрирования наблюдаемых пульсарных событий, можно получить отображение регулярного референтного ряда пульсарных событий для выявления свойств и потенциальных возможностей пульсаров как высокостабильных хранителей времени.

Представленные в работе материалы ограничиваются рамками этой конкретной задачи. Однако используемые здесь средства и получаемые результаты могут быть перенесены и на другие приложения рассматриваемой предметной области.

2 Параметрическое пространство пульсарного времени

Пульсарные события, связываемые с собственным вращением нейтронных звезд, регистрируются в виде импульсов в некоторой выбранной точке пространства. На Рис.2.1 показан вид таких импульсов пульсара B1937+21 (J1939+21) для одного периода (около 1,5 мс) по наблюдениям на радиотелескопе РТ-64 в Калязине [10].

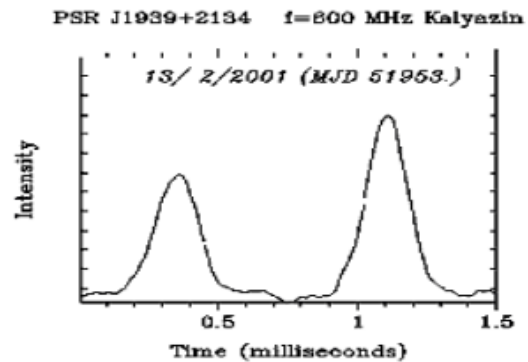


Рис.2.1. Регистрация пульсарных событий

В соответствии с определением метрики пространства-времени, пространство и время образуют единый континуум событий, включающий в том числе и наблюдаемые пульсарные события, каждое из которых определяется четырьмя независимыми координатами — тремя пространственными и временной, и, в свою очередь, интервал между наблюдаемыми событиями зависит от выбранной координатной системы отсчета [5, стр.40]. На основании этой метрики могут быть однозначно установлены МПИ в некоторой точке пространства в выбранной координатной системе отсчета, их последовательность и связь с МПИ в других координатных системах. Можно сформулировать несколько важных положений, которые определяют правила установления отношений наблюдаемых пульсарных событий:

1. Если моменты прихода импульса пульсара однозначно установлены в некоторой точке пространства, то они также могут быть взаимно однозначно установлены и в любой другой выбранной точке пространства.
2. Если в некоторой точке пространства установлен момент прихода какого-либо импульса пульсара, то может быть однозначно установлен и момент прихода любого другого импульса пульсара в эту точку.
3. Всегда можно найти такую точку пространства, которой в определенной координатной системе с центром в этой точке соответствует любое установленное значение МПИ, и такое геометрическое место точек, которому соответствует любая установленная последовательность МПИ.

При выборе начала координат в барицентре Солнечной системы порядковый номер пульсарного события в зависимости от момента его прибытия в барицентр определяется счетной формулой [6]:

$$N(T_N) = N_0 + f\Delta T + \frac{1}{2}\dot{f}\Delta T^2 + \frac{1}{6}\ddot{f}\Delta T^3 \quad (2.1)$$

где $\Delta T = T_N - T_0$,

T_N – барицентрический момент прихода N -го импульса пульсара,

T_0 – барицентрический момент прихода импульса, выбираемого в качестве начального (начальная эпоха),

N_0 – номер импульса, соответствующий моменту T_0 ,

f, \dot{f}, \ddot{f} – наблюдаемая в барицентре частота вращения пульсара и ее производные в момент T_0 .

Величина барицентрических МПИ пульсара и, соответственно, $\Delta T = T_N - T_0$, считаются априорно известными из модели, и $N(T_N)$ может быть установлено на основании (2.1) по частоте вращения и ее производным, если они известны.

Параметры модели, представляющие собой набор взаимосвязанных по смыслу численных переменных, устанавливаются на основе наблюдаемых значений пространственно-временных координат событий и отождествляются с результатами согласованной подгонки (фиттинга) численных значений входящих в модель параметров, включая полученные в наблюдениях значения, с оптимизацией по выбранному критерию минимальной ошибки [7]. И хотя в численных моделях, основанных на законах движения небесных тел, входящие в них переменные однозначно связаны строго детерминированными отношениями, тем не менее, для отдельно взятого параметра, значение которого определяется по результатам наблюдений путем подгонки всех параметров, единственного решения нет.

В частности, для того, чтобы установить значение $N(T_N)$ на основании частотных параметров f, \dot{f}, \ddot{f} , надо знать величину $\Delta T = T_N - T_0$, которая в свою очередь сама зависит от тех же частотных параметров.

Необходимо заметить также, что на основе счетной формулы (2.1) по результатам выборочных наблюдений пульсарных событий сложно выделить координату каждого пульсарного события в отдельности для отображения непрерывного ряда с целью выявления свойств пульсара как хранителя и референта времени. Этому условию удовлетворяет полученное путем обращения (2.1) соотношение, которое описывает дискретный континуум пульсарных событий в барицентре Солнечной системы:

$$t_N = t_0 + P_0 N + \frac{1}{2} P_0 \dot{P}(N) N^2 \quad (2.2)$$

где t_N – МПИ N -го импульса в барицентре,

t_0 – начальный момент измерения,

$P_0, \dot{P}(N)$ – период вращения пульсара в начальный момент и его производная.

Соотношение (2.2) следует непосредственно из (2.1), однако, в отличие от него, определяет t_N в явном виде, оперирует параметрами, относящимися только к временной области, и, кроме того, переменная N , принимающая значения натурального числового ряда, является независимой. Введение зависимости производной от текущего значения N в виде $\dot{P}(N)$ отражает ее переменность во времени не требует вводить в явном виде в (2.2) производные более высоких порядков.

Координаты наблюдаемых пульсарных событий – МПИ зависят от многих физических параметров, как собственно пульсара, так и относящихся к свойствам среды, условиям распространения радиоизлучения, взаимного влияния движущихся небесных тел. Численное значение наблюдаемых МПИ, кроме того, сильно зависит от выбора координатной системы отсчета и, соответственно, шкалы времени. По меньшей мере, две таких системы, определяемые четырехмерными преобразованиями, используются при хронометрировании: одна (ТТ) связана с движущейся по орбите и вращающейся Землей, а другая (ТВ) – с барицентром Солнечной системы. Барицентрические МПИ (ТВ) отображаются относительно простым геометрическим соотношением (2.2), которое инвариантно параметрам движения Земли и других небесных тел, в то время как в МПИ (ТТ) все эти факторы учитываются при наблюдениях [5, стр.265]:

$$TB = TT' + \frac{1}{c^2} \left\{ \int_0^t \left[\frac{V_E^2}{2} + U_p(X_E) \right] dt + V_E(X - X_E) \right\} \quad (2.3)$$

где X_E, V_E – барицентрическое положение и скорость центра масс Земли,

X – барицентрическое положение наблюдателя,

U_p – ньютоновский гравитационный потенциал всех тел Солнечной Системы, за исключением Земли.

В (2.3) входит геоцентрическое время TT' , которое отличается от ТТ на некоторую учитываемую поправку.

В Таблице 2.1. приведены фрагменты рядов МПИ пульсара PSR 1937+21, наблюдаемых в точке приема на радиотелескопе (ТТ) и трансформированных в барицентр Солнечной системы МПИ(ТВ) в соответствии с (2.3). Значения МПИ (ТТ) и МПИ (ТВ) отсчитываются от начала текущих суток, указываемых в виде календарной даты наблюдения и соответствующего ей дня

модифицированной юлианской даты (MJD). Ряды получены по данным наблюдений на радиотелескопе РТ-64 КРАО АКЦ ФИАН (обработка выполнена В.В.Орешко, ПРАО ФИАН, 2002).

Таблица 2.1. Ряды пульсарных событий TT и TB

Пульсар PSR 1937+21				
Дата наблюдения	MJD day	МПИ(TT) с	МПИ(TB) с	Остат. уклонения МПИ мкс
22.01.01	51931	32533,00128235	32233,84814799	-1,26
23.01.01	51932	31889,00143003	31589,91876930	-2,40
26.01.01	51935	32947,00177652	32648,81536722	0,16
30.01.01	51939	29298,00198144	29002,54675084	-1,03
01.02.01	51941	27434,00219107	27140,56776267	-0,36
05.02.01	51945	49816,00169533	49528,36933312	2,87
09.02.01	51949	34132,00253845	33851,25608876	-2,07
13.02.01	51953	20818,00198950	20545,73970103	1,68
20.02.01	51960	28764,00200352	28511,36498016	-1,12
14.05.01	52043	18444,00143388	18645,05982210	4,96

Остаточные уклонения МПИ в Таблице 2.1, которые представляют собой разность наблюдаемых и расчетных барицентрических МПИ, интерпретируются как сумма неопределенности (uncertainty) установленных значений МПИ (ТВ) из-за инструментальных погрешностей и зашумленности принимаемых сигналов пульсара.

Ряды МПИ (ТВ), представляющие собой результаты хронометрирования пульсаров, несут в себе следы множества физических факторов, характер проявления которых зависит от рассматриваемой предметной области и учитывается в зависимости от специфики приложения.

3 Онтологическое представление пульсарного времени

В компонентной среде приложения должны быть интегрированы те параметры обобщенной модели предметной области, которые относятся к содержанию рассматриваемого приложения. Через эти параметры выражаются смысловые понятия, образующие содержательное ядро приложения, на основе которого с помощью установленных правил и соответствующих методов осуществляется выявление свойств, присущих предметной области рассматриваемого приложения.

На Рис.3.1 приведена общая схема формирования онтологических представлений приложения, показывающая связь смысловых понятий приложения с параметрами предметной области, которые входят в ее модель. Результаты наблюдений позволяют, с одной стороны, получить согласованные значения сразу всех параметров модели и, с другой стороны, уточнить значение только тех параметров, которые определяют смысл данного приложения в его предметной области.

Из всех параметров модели, устанавливаемых на основе наблюдательных данных, в приложение отбираются только те из них (P_2, P_3 , выделенные на схеме), которые имеют непосредственное отношение к выявляемым свойствам предметной области. В рассматриваемом контексте пульсарного барицентрического времени к этим параметрам, в соответствии с (2.2), относятся период пульсара P и его первая производная \dot{P} . Учитывать все остальные параметры модели, по которым проводилась согласованная подгонка барицентрических МПИ, не требуется.



Рис.3.1. Формирование онтологических представлений

Несмотря на относительную простоту выражения (2.2), которое содержит только два параметра вращения пульсара P и \dot{P} , оно, тем не менее, не гарантирует однозначного согласования входящих в него величин: для определения барицентрических МПИ требуется априорное знание этих параметров, которые, в свою очередь, устанавливаются подгонкой всех параметров модели вместе с МПИ.

Для разрешения этой неоднозначности должны быть привлечены в контексте рассматриваемого приложения дополнительные правила, условия, ограничения, с помощью которых можно было бы установить единственные для данных наблюдаемых величин МПИ значения параметров P и \dot{P} .

Достижение определенности в выявлении P и \dot{P} , исходя из установленных МПИ, в свою очередь,

позволяет получить строго детерминированное отображение событийных рядов МПИ на основе (2.2).

Выделим основные, наиболее существенные правила, условия, ограничения, действующие при выявлении P и \dot{P} по наблюдаемым МПИ.

1. Каждому значению МПИ, согласно (2.2) соответствует определенный номер пульсарного события, отсчитываемый от некоторого начального момента измерения. Необходимым условием согласованной подгонки параметров модели и наблюдаемых МПИ является целочисленное количество периодов пульсара, укладываемых в интервале между любыми двумя наблюдаемыми МПИ.
2. В интервале между двумя наблюдаемыми МПИ одному и тому же целому числу N содержащихся в этом интервале пульсарных событий соответствует множество возможных значений периода и его производной, не разрешаемое однозначно в пределах одного интервала.
3. В пределах только одного интервала, ограниченного двумя наблюдаемыми МПИ, величина периода должна интерпретироваться как константа. Изменения периода во времени устанавливаются путем сравнения величин периода, относящихся к двум соседним интервалам между наблюдаемыми МПИ.
4. В интервале между двумя наблюдаемыми МПИ принимается такое значение периода, которое соответствует целочисленной величине N установленных в этом интервале событий.
5. Разница в расчетных и наблюдаемых МПИ интерпретируется как отклонение пульсарного времени в моменты совпадения номеров расчетных и наблюдаемых событий.

В Таблице 3.2. приведены значения разности рассчитанных по (2.2) и полученных в наблюдениях МПИ пульсара PSR 1937+21 как в абсолютном выражении ($T_{\text{Врасч}} - T_{\text{В}}$) в секундах, так и в долях

Таблица 3.1. Сравнение рассчитанных по модели и наблюдаемых МПИ($T_{\text{В}}$) пульсара PSR 1937+21

MJD, day	$T_{\text{В}}$, с	$T_{\text{В расч}}$, с	$T_{\text{Врасч}} - T_{\text{В}}$, мкс	$(T_{\text{Врасч}} - T_{\text{В}})/P$
51931	32233,84814799	32233,84814799	0,00	0,0000
51932	31589,91876930	31589,91876955	0,25	0,0002
51935	32648,81536722	32648,81537040	3,18	0,0020
51939	29002,54675084	29002,54675103	0,19	0,0001
51941	27140,56776267	27140,56775735	-5,32	-0,0034
51945	49528,36933312	49528,36932986	-3,26	-0,0021
51949	33851,25608876	33851,25608461	-4,15	-0,0027
51953	20545,73970103	20545,73969801	-3,02	-0,0019
51960	28511,36498016	28511,36497884	-1,32	-0,0008
52043	18645,05982210	18645,05979915	-22,95	-0,0147

периода наблюдаемых событий. Значение периода было взято по каталогу пульсаров [8] и пересчитывалось на дату наблюдения.

По расчетным значениям $T_{\text{Врасч}}$ устанавливается число N пульсарных событий в интервале между наблюдаемыми событиями и порядковый номер наблюдаемого события. Разность между рассчитанными и наблюдаемыми МПИ ($T_{\text{В}}$) не превышает несколько тысячных или сотых долей периода и подтверждает надежность установления ожидаемого числа N .

Расчетные МПИ ($T_{\text{В}}$) и, следовательно, остаточные отклонения МПИ, полученные согласованной подгонкой параметров по результатам наблюдений (Таблица 2.1), отличаются от МПИ и остаточных отклонений, полученных по содержащимся в пульсарных каталогах усредненным параметрам (Таблица 3.1). Эти отличия неизбежны, они зависят как от качества регистрации радиоизлучения пульсара на радиотелескопе, так и определенного произвола при многопараметрической подгонке параметров по обобщенным критериям.

Такая вариабельность выявляемых в наблюдениях остаточных отклонений не позволяет путем подгонки получить точное значение параметров P и \dot{P} , от которых зависят барицентрические МПИ. Однако, если принять во внимание, что условие целочисленного количества пульсарных событий в интервале между наблюдаемыми МПИ должно выполняться во всех случаях, то можно попытаться определить значения параметров P и \dot{P} таким образом, чтобы они точно соответствовали этому условию. И какие бы значения P и \dot{P} ни были получены при многопараметрической подгонке МПИ ($T_{\text{В}}$), в любом случае это условие должно быть применено и выполняться для всех интервалов между установленными в наблюдениях МПИ ($T_{\text{В}}$).

Существующая неоднозначность параметров P и \dot{P} , обусловленная тем, что одному и тому же целому числу N содержащихся в интервале между двумя наблюдаемыми МПИ пульсарных событий удовлетворяет множество взаимосвязанных значений периода и его производной, не снимается многопараметрической подгонкой МПИ ввиду отмеченной вариабельности ее результатов, и требует своего разрешения дополнительно, вне процедуры подгонки.

4 Методы выявления свойств пульсаров как референтов времени

Поскольку реальные ряды хронометрирования пульсаров содержат МПИ лишь некоторых, выборочно наблюдаемых пульсарных событий, возникает необходимость реконструкции и отображения всей последовательности пульсарных событий, несмотря на то, что они напрямую не

наблюдались. При этом имеющиеся в наличии, выборочно установленные в наблюдениях даты МПИ принимаются в качестве референтов пульсарного времени, с которыми должны быть согласованы даты отображаемых пульсарных событий, когда порядковый номер N события может принимать любое значение из натурального числового ряда. Вся совокупность наблюдаемых и отображаемых пульсарных событий должна представлять собой единый непрерывный ряд МПИ с однозначной привязкой отображаемых и наблюдаемых событий на оси времени, так чтобы МПИ отображаемых событий совпадали с МПИ наблюдаемых событий в точках с совпадающими номерами N .

Для этого требуется решить следующие задачи:

- Установить значение периода, удовлетворяющее условию целочисленного количества периодов, укладывающихся в интервале между датами наблюдаемых пульсарных событий;
- Определить изменения величины периода от интервала к интервалу между наблюдаемыми пульсарными событиями по установленным датам наблюдаемых пульсарных событий;
- Связать компоненты МПИ отображаемых пульсарных событий, определяемые значением периода и его переменной составляющей, в пределах интервалов, ограниченных наблюдаемыми пульсарными событиями.

Очевидно, что перечисленные задачи, относящиеся к извлечению свойств по выборочным, неполным рядам исходных наблюдательных данных, принципиально не могут быть решены в реальном масштабе времени. Потребуется компонентный постпроцессорный синтез этих свойств с учетом результатов предшествующих наблюдений, которыми располагает коллекция астрометрических пульсарных данных.

При решении перечисленных задач должны быть выполнены условия согласованности отображаемых признаков и свойств с исходными, установленными наблюдениями параметрами:

- Для формирования любых численных параметров, необходимых для отображения пульсарных событий, можно использовать только установленные наблюдениями значения МПИ, не прибегая ни к каким другим параметрам и источникам;
- Значение периода вращения на начальный момент выбранного интервала определяется интерполяционным вписыванием периода по наблюдаемым пульсарным событиям в предыдущем интервале;
- Разница между наблюдаемыми и полученными по интерполяционному периоду МПИ интерпретируется как учитываемая поправка дат, определяемая для каждого из N отображаемых в выбранном интервале пульсарных событий.

Выполнение этих требований позволяет по имеющимся наблюдаемым МПИ воспроизвести непрерывную последовательность дат ненаблюдаемых пульсарных событий, используя только реальные численные величины, установленные по наблюдаемым пульсарным событиям. Интерполяционная поправка отображаемых МПИ учитывает влияние замедления вращения пульсара, величина которого также определяется из наблюдаемых МПИ. Внесение этой поправки в МПИ отображаемых событий не нарушает условия целочисленного значения количества периодов в интервале.

В Таблице 4.1 приведены результаты интерполяционной подгонки до целочисленного значения периодов пульсара PSR 1937+21 в девяти представленных здесь интервалах, каждый из которых ограничен двумя соседними датами наблюдаемых пульсарных событий. Интерполяционному периоду P_i присваивается такое значение, чтобы в интервале, который определяется разностью барицентрических МПИ соседних дат наблюдения $dTB = TB_i - TB_{i-1}$ (TB из Таблицы 3.1), укладывалось целое число периодов пульсарных событий.

Таблица 4.1. Интерполяционная подгонка периода пульсара PSR1937+21

MJD day	P_i , с	$dTB = TB_i - TB_{i-1}$, с	Число периодов
51931 1	0,001557806509046980	85756,07062131	55049244,0000
51932 2	0,001557806509100060	260258,89659792	167067537,000
51935 3	0,001557806509111180	341953,73138362	219509759,000
51939 4	0,001557806509149640	170938,02101183	109729944,000
51941 5	0,001557806509185390	367987,80157045	236221764,000
51945 6	0,001557806509185210	329922,88675564	211786820,000
51949 7	0,001557806509260640	332294,48361227	213309215,000
51953 8	0,001557806509285750	612765,62527913	393351563,000
51960 9	0,001557806509363780	7161333,69484194	4597062377,00
52043	0,001557806510080390		

В Таблице 4.2 представлены изменения величины интерполяционного периода от одного интервала к другому, каждый из которых ограничивается наблюдаемыми пульсарными событиями. Эти изменения выявлены по установленным в наблюдениях барицентрическим МПИ, которым соответствует полученное линейной интерполяцией значение периода, не изменяющееся на протяжении всего интервала..

На Рис.4.1 приведен график изменений интерполяционного периода для девяти рассматриваемых интервалов. Численные величины

этих изменений, установленные для девяти рассматриваемых интервалов, отображены в виде точек, отнесенных к соответствующему номеру интервала, который указан в Таблицах 4.1 и 4.2. Для большей наглядности хода периода точки на графике соединены отрезками, которые, заметим, к его численным значениям отношения не имеют.

Здесь же для сравнения отложена известная величина производной периода dP/dt : $\dot{P} = 1,05119E-19$ на текущую эпоху, взятая из каталога пульсаров [8].

Таблица 4.2. Изменения интерполяционного периода пульсара PSR1937+21

MJD day	P_i , с	dP_i/dTB	$dTB = TB_i - TB_{i-1}$, с
51931	0,001557806509046980	1,05119E-19	
1		6,18964E-19	85756,07062131
51932	0,001557806509100060		
2		4,27267E-20	260258,89659792
51935	0,001557806509111180		
3		1,12472E-19	341953,73138362
51939	0,001557806509149640		
4		2,09139E-19	170938,02101183
51941	0,001557806509185390		
5		-4,89086E-22	367987,80157045
51945	0,001557806509185210		
6		2,2863E-19	329922,88675564
51949	0,001557806509260640		
7		7,55652E-20	332294,48361227
51953	0,001557806509285750		
8		1,27341E-19	612765,62527913
51960	0,001557806509363780		
9		1,00066E-19	7161333,69484194
52043	0,001557806510080390		

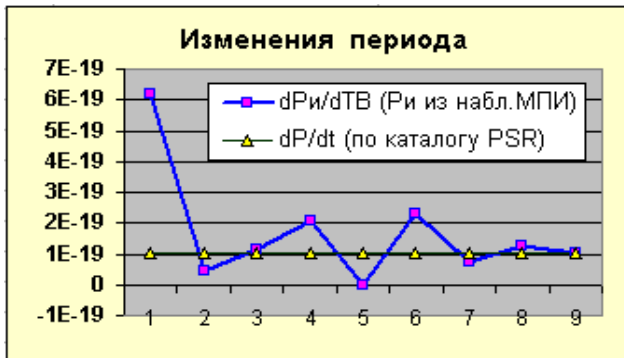


Рис.4.1. Изменения интерполяционного периода

После того, как по установленным в наблюдениях значениям барицентрических МПИ и априорно известным числом пульсарных событий в интервалах, ограниченных этими МПИ, были получены численные значения интерполяционных периодов для каждого интервала и величина изменений интерполяционного периода от интервала к интервалу, попытаемся выявить соответствие полученных численных значений P_i и

dPu/dTB параметрам модели барицентрических МПИ — P_0 и \dot{P} , входящих в (2.2). Если такое соответствие будет выявлено, то установленные по наблюдаемому МПИ и поэтому однозначно им соответствующие параметры P_0 и \dot{P} , которые, будучи неизменными на протяжении всего интервала, будут, в свою очередь, однозначно соответствовать значениям МПИ и для всех других пульсарных событий внутри этого интервала, то есть для всех и любого N в нем.

Поскольку значение P_i , которое может быть установлено по разности двух наблюдаемых МПИ и числу пульсарных событий в интервале между ними, является единственным, и, принимая во внимание постоянство периода в пределах этого интервала, то в качестве параметра P_0 на начало следующего интервала может быть принято значение P_i , установленное для предыдущего интервала:

$$P_{i+1} = P_{i+1} \quad (4.1)$$

Теперь представим структуру параметра МПИ в виде двух отдельных компонентов, один из которых есть интерполяционное значение МПИ: $N * P_{i+1}$ — N -кратная величина интерполяционного периода P_{i+1} , полученная на предыдущем интервале, а другая представляет собой разность $(dTB - N * P_{i+1})$ наблюдаемого и интерполяционного значения МПИ в конце текущего интервала.

Такая структура наблюдаемых МПИ представлена в Таблице 4.3.

Таблица 4.3. Двухкомпонентное представление наблюдаемых МПИ (PSR 1937+21)

MJD day	P_i , с	Число периодов N	$N * P_i$, с	$dTB - N * P_i$, с
51931		55049244		
51932	0,001557806509046980	167067537	260258,89658905	8,87286E-06
51935	0,001557806509100060	219509759	341953,73138119	2,43454E-06
51939	0,001557806509111180	109729944	170938,02100761	4,22471E-06
51941	0,001557806509149640	236221764	367987,80156201	8,43988E-06
51945	0,001557806509185390	211786820	329922,88675568	-3,45754E-08
51949	0,001557806509185210	213309215	332294,48359619	1,60826E-05
51953	0,001557806509260640	393351563	612765,62526925	9,88331E-06
51960	0,001557806509285750	4597062377	7161333,69448322	0,000358718
52043	0,001557806509363780			

Здесь, в отличие от Таблицы 4.2, значения интерполяционного периода взяты не из текущих, а из предыдущих интервалов, и интерпретированы

как параметры P_0 для текущего интервала. Значения $dTB = TB_i - TB_{i-1}$ взяты из Таблицы 4.2.

Величина $N \cdot P_u$ в Таблице 4.3 точно соответствует линейному члену NP_0 выражения (2.2). Для выявления соответствия установленных по наблюдательным МПИ значениям P_u и dPu/dTB параметрам P_0 и \dot{P} необходимо сопоставить их с квадратичной компонентой $P_0 \dot{P}(N)N^2$ выражения (2.2).

В Таблице 4.4 показан результат сопоставления интерполяционной разности МПИ с величиной запаздывания пульсарных событий, обусловленной постепенным увеличением периода вращения пульсара ($\dot{P} > 0$). Величина этого запаздывания выражается квадратичной компонентой $P_0 \dot{P}(N)N^2$ в (2.2).

Таблица 4.4. Соотношение интерполяционной разности и смещения дат МПИ

MJD day	P_u , с	Число периодов N	Интерп. разн. $dTB - N \cdot P_u$, с	$P_0 \dot{P} N^2$, с
51931		55049244		
51932	0,001557806509046980	167067537	8,87286E-06	8,86793E-06
51935	0,001557806509100060	219509759	2,43454E-06	2,44095E-06
51939	0,001557806509111180	109729944	4,22471E-06	4,22023E-06
51941	0,001557806509149640	236221764	8,43988E-06	8,44489E-06
51945	0,001557806509185390	211786820	-3,45754E-08	-3,81169E-08
51949	0,001557806509185210	213309215	1,60826E-05	1,60899E-05
51953	0,001557806509260640	393351563	9,88331E-06	9,87702E-06
51960	0,001557806509285750	4597062377	0,000358718	0,000358709
52043	0,001557806509363780			

Из сопоставления величин интерполяционной разности и смещения дат следует, что они практически совпадают, что иллюстрируется графиками на Рис.4.2. Расхождение не превышает 0,01 мкс и не выходит за пределы достижимой точности хронометрирования пульсаров.

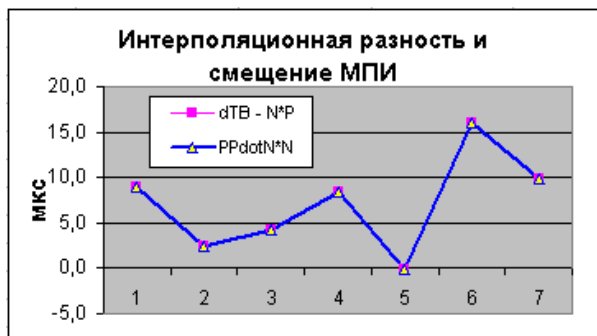


Рис. 4.2. Соотношение интерполяционной разности и смещения дат МПИ

Время прибытия k -го импульса в любом выделенном интервале можно представить с следующим виде:

$$t_k = TB_i + kP_{u_i} + (dTB - NP_{u_i}) \frac{k^2}{N^2}, \quad (4.2)$$

где TB_i - МПИ наблюдаемого события в начале интервала.

Выражение (4.2) соответствует исходному соотношению (2.2), однако отличается от него тем, что численные значения всех входящих в (4.2) параметров полностью детерминированы наблюдаемыми МПИ. При этом отпадает необходимость оперировать в явном виде какими бы то ни было другими параметрами, включая и параметры вращения пульсара.

Эта закономерность, вытекающая из двухкомпонентной структуры МПИ, важна для практических приложений. Она позволяет отображать пульсарные события, независимо от того, наблюдались они или нет, в виде непрерывной последовательности, в которой выборочно наблюдаемые события служат в качестве референтных, и по ним однозначно определяются временные координаты всех остальных.

Таким образом, из полученных результатов следует:

1. Интерполяцией периода пульсара в интервале, заключенном между двумя наблюдаемыми МПИ, достигается разделение величины МПИ на две компоненты, которые численно соответствуют постоянной и переменной составляющим периода пульсара.
2. Двухкомпонентное представление МПИ позволяет отобразить время любого пульсарного события в промежутке между наблюдениями по наблюдаемым значениям МПИ в виде суммы двух слагаемых, одно из которых кратно интерполяционному периоду предыдущего интервала, а другое представляет собой результат квадратичной интерполяции смещения МПИ в конце текущего интервала.

Приведенные здесь методы выявления свойств пульсаров как независимых хранителей времени позволяют получить целостное представление непрерывного ряда пульсарных событий, реально наблюдаемых лишь выборочно и достаточно редко (одно событие из $10^5 - 10^9$ произошедших).

Благодаря использованию правил и условий, ограниченных понятиями относительно узкой предметной области конкретного приложения, достигается редуцирование ее параметрического пространства, исключающее неоднозначность результатов, присущую многопараметрической подгонке множества взаимосвязанных величин.

Отображаемый непрерывный ряд пульсарных событий позволяет изучать свойства, присущие пульсарам как хранителям времени, а также оценивать качество наблюдательных результатов по всему ансамблю непрерывного ряда.

Заключение

На примере рассмотрения особенностей пульсаров как высокостабильных хранителей времени решалась задача формирования, систематизации и тестирования информационных компонентов коллекции астрометрических наблюдательных данных с целью извлечения и отображения свойств пульсаров как независимых референтов времени по наблюдаемым пульсарным событиям. Привлекательная для этого онтологическая база включает термины, факты в связи с их ролью в представлении понятий, содержания предметной области, а также основные правила, условия, ограничения, действующие при выявлении ее свойств. Сформирован пакет методов, относящихся к выявлению, тестированию, отображению характеристик событийных рядов как потенциальных референтов пульсарного времени.

Для рассматриваемой задачи из коллекции астрометрических пульсарных данных были взяты результаты хронометрирования миллисекундного пульсара PSR 1937+21, которые были выполнены на радиотелескопе РТ-64 (Калязин) в первой половине 2001 года. Сценарий извлечения и тестирования содержательных признаков, свойств был выполнен в объектно-ориентированной компонентной среде приложения, что позволило реализовать средствами графического пользовательского интерфейса как создание инструментальной оболочки, так и выполнение задачи. В результате стало возможным консолидировать и поддерживать в среде промежуточного слоя все необходимые исходные данные наблюдений, привлекаемые сведения из каталогов, промежуточные результаты расчетов и оценок, и под управлением объектных методов выполнить в оперативном режиме (on-fly) все функции извлечения, тестирования, подгонки, оптимизации содержательных результатов. При этом требуемые модификации правил, методов, исходных выборок и представлений выполнялись так же оперативно, по мере необходимости, с использованием тех же инструментальных средств.

Выполняемая в рамках поставленной задачи работа, благодаря использованию объектных технологий и компонентной организации информационных ресурсов, открывает возможность для реализации аналогичным образом и других приложений на основе сформированной онтологической базы, с повторным использованием методов управления, сценариев моделирования, правил извлечения, сопоставления результатов применительно к любым данным, независимо от их источника, наблюдательных инструментов, в том числе в распределенной web-среде.

Автор выражает признательность Ю.П.Илясову, В.В.Орешко, В.А.Потапову, А.Е.Родину за проявленное внимание к работе, обсуждение и высказанные замечания, которые способствовали ее выполнению.

Литература

- [1]. M.Jarrar, R.Meersman. Formal Ontology Engineering in the DOGMA Approach. //CoopIS/DOA/ODBASE 2002, LNCS 2519, pp. 1238-1254. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002.
- [2] А.Е.Авраменко. Синтез онтологических представлений по данным астрометрических наблюдений. //Труды Пятой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». Санкт-Петербург, 2003, с.311-321.
- [3]. В.Г.Ильин, Ю.П.Илясов, А.Д.Кузьмин и др. Шкала Пульсарного времени. //ДАН СССР. 1984, т.275, № 4, с.835-838.
- [4]. The USNO Pulsar Data Archive. <http://tycho.usno.navy.mil/pulsar.html>.
- [5]. К.Одуан, Б.Гино. Измерение времени. Основы GPS. Пер. с англ. под ред. В.М.Татаренкова. ТЕХНОСФЕРА, М., 2002.
- [6]. О.В.Дорошенко, С.М.Копейкин Алгоритм высокоточного фазового анализа наблюдений одиночных пульсаров. Астрономический журнал, 1990, **67**, 5, с.986-998.
- [7]. Doroshenko O.V. Timing Model of TIMAPR. <http://psun32.prao.psn.ru/olegd/soft.html>.
- [8]. J.H.Taylor, R.N. Manchester, and A.G.Lyne. Catalog of 558 Pulsars. //The Astrophys. Journal Suppl. Series, 88:529-568, 1993 October
- [9]. B.Guinot. Atomic Time Scales for Pulsar Studies and Other Demanding Applications. //Astron.&Astrophys., 1988, **192**, pp.370-373.
- [10]. Pulsar timing data. <http://psun32.prao.psn.ru/data/kalyazin/index.html>

Retrieval of Time-Clock Properties from Referent Rows of the Astrometry Events

А.Е.Авраменко

On the example of observed pulsar pulses time arrival series, the structure and particularity of information resources, which realize extraction and presentation of properties of pulsars as high stable time referents, is considered. In terms, concepts, displaying entity relations of application domain, the main rules, conditions and restrictions, which are available for retrieval of time-clock properties of observed pulsar events, are formulated. The integrated package of methods, which supports the extracting, testing and presentation of the properties of the series on the base of observed pulsar events, is produced. Some results of modeling application domain in framework of the object-oriented ambience by using these rules, methods, are presented.

* Работа поддержана грантом РФФИ № 03-07-90219