УДК 629.78

Теория запаздывания сигналов применительно к ГЛОНАСС и GPS

Вовасов В. Е.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

e-mail: vovasov@list.ru

Аннотация

Приведена теория запаздывания сигналов, базирующаяся на классическом представлении о пространстве и времени. Показано, что в отличие от специальной теории относительности в преобразованиях теории запаздывания сигналов нет зависимости пространства и времени от скорости движения тел, хотя полученные аналитические зависимости для неучтенных временных задержек и истинного значения радиальной дальности в момент предшествия достаточно близки соответствующему уходу шкал времени движущихся источников сигналов и преобразованиям координат в специальной теории относительности. Полученные в рамках теории запаздывания сигналов выражения позволяют объяснить многие эффекты, до настоящего времени не объясненные физикой.

Ключевые слова: теория запаздывания сигналов, специальная теория относительности, ГЛОНАСС и GPS

С развитием ГЛОНАСС и GPS в руках инженеров появился высокоточный измерительный инструмент, о котором ученые, жившие даже 50 лет тому назад, могли только мечтать [3,4]. Так эксперимент, описанный в [2], показал зависимость частоты Доплера, измеряемой навигационным приемником, от ускорения приемника. Такое поведение частоты Доплера невозможно описать ни специальной теорией относительности (СТО), ни общей теорией относительности (ОТО). В [2] дано объяснение этому эффекту с точки зрения запаздывания электромагнитного сигнала излучаемого источником относительно приемника. Так как это явление проявляет себя в различных областях, то появилась необходимость описать его отдельно под названием теория запаздывания сигналов (ТЗС).

Постулат Ньютона об абсолютном пространстве содержит идею об абсолютно неподвижной системе отсчета. Считалось, что среди множества движущихся относительно друг друга инерциальных систем, имеется одна, преимущественная, связанная с абсолютным пространством, которая действительно неподвижна. В отличие от постулата Ньютона основным постулатом Эйнштейна является принцип постоянства скорости света - c в вакууме во всех инерциальных системах отсчета по всем направлениям. Математический анализ явлений, происходящих в инерциальных системах, который Эйнштейн провел на основе постулатов, один из которых приведен выше, показал, что преобразования Галилея вида

$$x' = x - v \cdot t \qquad (1)$$

несовместимы с этими постулатами и должны быть заменены другими , которые теперь называют преобразованиями Лоренца [1,5].

$$x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (2)$$

Здесь v-скорость источника сигнала, совпадающая с осью x , t- время. Следствием постулатов Эйнштейна является зависимость пространства, времени и массы от скорости движения тел и ряд других положений. Эти выводы возможны лишь в том случае, если мировая среда – эфир не существует в природе.

ТЗС базируется на модифицированном постулате Ньютона, т.е. система отсчета должна быть неподвижна относительно эфира. Причем любая масса создает в непосредственной близости от себя неподвижный, относительно этой массы, эфир, так Земля вращается в неподвижном эфире. Этот эффект называется увлечение эфира Землей [6]. ТЗС, основываясь на классическом представлении о пространстве без постулатов Эйнштейна, с учетом запаздывания сигнала от источника до приемника, приводит к преобразованиям координат похожим на преобразования Лоренца. Покажем это.

Пусть электромагнитные колебания распространяются со скоростью света (c=299792458 м/с) относительно некоторой неподвижной среды, которую принято называть эфиром. Введем некоторую инерциальную систему координат, оси которой совпадают с геоцентрической экваториальной, а центр координат неподвижен относительно эфира. В геоцентрической экваториальной системе координат начало совпадает с центром Земли, опорная плоскость этой системы координат совпадает с плоскостью экватора. Первая ось - направлена из центра Земли в точку весеннего равноденствия или точку Овна γ (γ-астрономический знак созвездия Овна) . Вторая ось проходит через северный полюс Земли. Третья ось дополняет систему до правой. Таким образом выбранная система практически неподвижна относительно звезд.

Введем в рассмотрение текущий момент времени t и будем говорить, что в каждый текущий момент времени t осуществляется наблюдение за сигналом в точке его приема.

Введем в рассмотрение момент времени предшествия

$$t_{np}(t) = t - t\left(t_{np}(t)\right) \tag{3}$$

текущему моменту наблюдения t на время задержки $t\left(t_{np}(t)\right)$ излучаемых колебаний в пространстве.

В связи с тем, что дальность между приемником и источником колебаний изменяется, будет изменяться задержка $t\left(t_{np}(t)\right)$ и поэтому момент времени $t_{np}(t)$ является функцией текущего времени t в точке наблюдения.

Из (3) получаем следующее выражение для задержки $t\left(t_{np}(t)\right)$

$$t\left(t_{np}(t)\right) = t - t_{np}(t) \qquad (4)$$

В принятой неподвижной системе координат координату источника обозначим как $\bar{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$, а координату приемника как $\bar{X}_{\text{Ï}}(t)$, аналогично скорость источника в этой системе координат $\dot{\bar{X}}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$, а скорость приемника $\dot{\bar{X}}_{\text{Ï}}(t)$, скорость же волны относительно этой неподвижной среды можно обозначить следующим образом $\bar{V}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$, где модуль этого вектора равен скорости света - c.

Тогда расстояние между приемником и источником сигнала равно

$$\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) = \sqrt{\left[\bar{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \bar{X}_{\text{Ï}}(t)\right]^T \left[\bar{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \bar{X}_{\text{Ï}}(t)\right]} \qquad (5)$$

Радиальная скорость сближения источника сигнала и приемника будет равна

$$\dot{\rho}_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) = \frac{\left[\bar{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \bar{X}_{\text{Ï}}(t)\right]^T \left[\dot{\bar{X}}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\left(1 - \frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}\right) - \dot{\bar{X}}_{\text{Ï}}(t)\right]}{\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)} =$$

$$\bar{e}^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) \cdot \left[\dot{\bar{X}}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\left(1 - \frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}\right) - \dot{\bar{X}}_{\text{Ï}}(t)\right] = \qquad (6)$$

$$\dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) \cdot \frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}$$

Здесь

$\dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) = \bar{e}^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) \cdot \dot{\bar{X}}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$ радиальная скорость источника сигнала,

$\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) = \bar{e}^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) \cdot \dot{\bar{X}}_{\text{Ï}}(t)$ радиальная скорость приемника сигнала,

$\bar{e}^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)=\dfrac{\left[\bar{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-\bar{X}_{\text{Ï}}(t)\right]^T}{\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}$ так называемые направляющие косинусы.

Исходя из предположения о существовании эфира, будем считать, что сложение скоростей соответствует преобразованиям Галилея и тогда радиальная скорость сближения волны и приемника будет равна

$$\dot{\rho}_{\text{ÂÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)=\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) \qquad (7)$$

Для задержки $\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$ справедливо следующее выражение

$$\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)=\frac{\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\dot{\rho}_{\text{ÂÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}=\frac{\sqrt{\left[X_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-X_{\text{Ï}}(t)\right]^T\left[X_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-X_{\text{Ï}}(t)\right]}}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)} \qquad (8)$$

Дифференцируя левую и правую части (8) получаем уравнение для вычисления производной $\dfrac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}$

$$\begin{aligned}
\frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}&=\frac{\left[X_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-X_{\text{Ï}}(t)\right]^T\left[\dot{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\left(1-\dfrac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}\right)-\dot{X}_{\text{Ï}}(t)\right]}{\left(\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\right)\cdot\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}-\\
&\quad\frac{\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\left(\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\right)^2}=\\
&\quad\frac{e^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\dot{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-e^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\dot{X}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\dfrac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}-e^T\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\dot{X}_{\text{Ï}}(t)}{\left(\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\right)}-\\
&\quad\frac{\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\left(\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\right)^2}
\end{aligned} \qquad (9)$$

Решая уравнение (9), получаем выражение для производной $\dfrac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}$ в виде

$$\frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}=\frac{\dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-\dfrac{\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\left(\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\right)}}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)+\dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)} \qquad (10)$$

Пусть ускорение, как у источника сигнала, так и приемника отсутствует, а для вычисления координат приемника сигнала используется алгоритм получения координат источников сигналов на момент предшествия (3).

Используя разложение в ряд Тейлора, можно получить требуемое значение с помощью следующего выражения

$$\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)=\bar{X}_{\grave{E}}\left(t-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\right)=\bar{X}_{\grave{E}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t) \tag{11}$$

Значение величины задержки $\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)$ можно получить из (8) в виде

$$\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)=\frac{\rho_{\grave{E}\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)} \tag{12}$$

Значение величины $\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}$ с учетом (10) и принятого допущения об отсутствии ускорений будет равно

$$\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}=\frac{\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)-\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)} \tag{13}$$

Из-за эффекта запаздывания сигнала, исходя из выражения (6), выражение (11) можно записать в виде

$$\begin{gathered}\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)-\bar{X}_{\ddot{I}}(t)=\bar{X}_{\grave{E}}\left(t-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\right)-\bar{X}_{\ddot{I}}(t)=\bar{X}_{\grave{E}}(t)-\bar{X}_{\ddot{I}}(t)-\\ \tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)\cdot\left(1-\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}\right)=\\ \bar{X}_{\grave{E}}(t)-\bar{X}_{\ddot{I}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)+\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)\end{gathered} \tag{14}$$

Будем считать, что движение источника сигнала и приемника происходит на одной прямой, тогда $e^{T}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)=e^{T}(t)$.

Умножим каждый член выражения (14) на вектор направляющих косинусов $e^{T}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)$ и запишем

$$\rho_{\grave{E}\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)=\rho_{\grave{E}\ddot{I}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\grave{E}}(t)+\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}\cdot\dot{\rho}_{\grave{E}}(t) \tag{15}$$

Подставляя значение $\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)$ и $\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}$ в (15) и производя перегруппировку членов, получим

$$\rho_{\grave{E}\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)=\frac{\rho_{\grave{E}\ddot{I}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\grave{E}}(t)}{\{1-\frac{\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)-\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\grave{E}}(t)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}\}} \tag{16}$$

Если движение происходит по координате –x, то с учетом введенных ранее обозначений можно записать

$x' = \rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$;

$x = \rho_{\text{ÈÏ}}(t)$;

$v = \dot{\rho}_{\text{È}}(t)$;

$u = \dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) = 0$;

Для практических задач релятивистские эффекты рассматриваются за время равное задержке сигнала, т.е.

$t = \tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$.

И тогда

$$x' = \frac{x - \tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) \cdot v}{\{1 - \dfrac{v-u}{\tilde{n}+u+v} \cdot \dfrac{v}{\tilde{n}+u}\}} = \frac{x - t \cdot v}{\{1 - \dfrac{v^2}{\tilde{n}^2 + c \cdot v}\}} \tag{17}$$

Если $\frac{v}{\tilde{n}} \ll 1$ то

$$x' = \frac{x - t \cdot v}{\{1 - \dfrac{v^2}{\tilde{n}^2} + \dfrac{v^3}{\tilde{n}^3}\}} \tag{18}$$

При этих условиях можно записать

$$x' = \frac{x - t \cdot v}{\{1 - \dfrac{v^2}{\tilde{n}^2} + \dfrac{v^3}{\tilde{n}^3}\}} = \frac{x - t \cdot v}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{\tilde{n}^2} - \dfrac{v^2}{2 \cdot \tilde{n}^2} + \dfrac{v^3}{\tilde{n}^3}}} \approx \frac{x - t \cdot v}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{\tilde{n}^2}}}$$

Отличие полученного выражения от преобразования Лоренца заключается в наличие слагаемого $-\frac{v^2}{2 \cdot \tilde{n}^2} + \frac{v^3}{\tilde{n}^3}$ в знаменателе. Очевидно, что при $\frac{v}{\tilde{n}} \ll 1$ эти выражения практически идентичны.

Эйнштейн с помощью математического анализа явлений, происходящих в инерциальных системах, пришел к преобразованиям Лоренца, т.е. не используя физику явления. В случае ТЗС, явление объясняется с точки зрения физики. В нашем случае t не любая величина, а задержка сигнала из-за конечного времени его распространения. Величина $x - t \cdot v$ значение координаты x в момент предшествия $t_{np}(t)$ без учета запаздывания сигнала, т.е. фиктивная величина, а x' - значение координаты x в момент предшествия $t_{np}(t)$ с учетом запаздывания сигнала, т.е. реальная величина. Рассмотрим также известное преобразование времени, которое трактуется в СТО как уход часов в одной системе координат относительно ухода в другой

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}\cdot x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{\tilde{n}^2}}} . \tag{19}$$

Перепишем это выражение в более удобном для дальнейшего сравнения виде

$$t - t'\cdot\sqrt{1-\frac{v^2}{\tilde{n}^2}} = \frac{v}{c^2}\cdot x . \tag{20}$$

Из-за эффекта запаздывания сигнала, исходя из выражения (4), выражение (11) можно записать в виде

$$\begin{gathered}\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) = \bar{X}_{\grave{E}}\left(t-\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\right) = \bar{X}_{\grave{E}}(t) - \tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)\cdot\left(1-\frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}\right) = \\ \bar{X}_{\grave{E}}(t) - \tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t) + \tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t) = \bar{X}_{\grave{E}}(t) - [\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \Delta\tau_1]\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)\end{gathered} \tag{21}$$

Интервал времени

$$\Delta\tau_1 = \tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt} \tag{22}$$

можно трактовать как не учитываемый интервал времени, приводящий к ошибке расчета координат источника сигнала. Этот интервал времени равен $\Delta\tau_1 = t - t'$ в принятых в СТО обозначениях. Подставляя в это выражение значения $\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)$ и $\frac{d\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{dt}$ и считая $\frac{v}{\tilde{n}} \ll 1$, получим

$$t - t' = \frac{\rho_{\grave{E}\ddot{I}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\tilde{n} + \dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) - \dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\tilde{n} + \dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right) + \dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)} = \frac{x\cdot v}{c^2 + c\cdot v} \approx \frac{x\cdot v}{c^2} \tag{23}$$

Очевидно, что и выражения (20) и (23) при малых скоростях источника сигнала практически идентичны.

Заметим, что в отличие от СТО, в преобразованиях ТЗС нет зависимости пространства и времени от скорости движения тел, хотя аналитические зависимости достаточно близки. Таким образом, в ТЗС возвращаемся к тому, что ход времени никак не связан с системой отсчета и является абсолютным, т.е. к тому, как считал Ньютон.

Аналогичные рассуждения по запаздыванию сигнала могут быть произведены и для явления гравитации. В этом случае источником излучения является носитель передатчика, например спутник ГЛОНАСС, а приемником, Земля, как превалирующая масса для околоземного пространства. В этом случае выражения (3)-(10) справедливы, но скорость гравитационного взаимодействия будем считать неизвестной и равной $\tilde{n}_{\tilde{a}}$, так как в ОТО эту величину принимают равной скорости света без каких либо доказательств. Ввиду того, что приемником гравитационных взаимодействий является цент поля, в нашем случае центр Земли, то введем для этого случая новые обозначения.

Тогда расстояние между приемником и источником сигнала равно

$$\rho_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)=\sqrt{\left[\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\right]^{T}\left[\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\right]} \tag{24}$$

Радиальная скорость сближения источника сигнала и приемника будет равна

$$\begin{gathered}\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)=\frac{\left[\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\right]^{T}\left[\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\left(1-\frac{d\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)}{dt}\right)\right]}{\rho_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)}= \\ \bar{e}_{\tilde{a}}^{T}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\cdot\left[\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\left(1-\frac{d\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)}{dt}\right)\right]=\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)-\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\cdot\frac{d\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)}{dt}\end{gathered} \tag{25}$$

Здесь

$\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)=\bar{e}_{\tilde{a}}^{T}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)$ радиальная скорость источника сигнала,

$\bar{e}_{\tilde{a}}^{T}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)=\dfrac{\left[\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)\right]^{T}}{\rho_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{i}\eth}(t)\right)}$ направляющие косинусы.

Поэтому для запаздывания гравитационной волны и его производной получим выражения

$$\tau_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)=\frac{\rho_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)}{\tilde{n}_{\text{ã}}} \tag{26}$$

$$\frac{d\tau_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)}{dt}=\frac{\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)}{\tilde{n}_{\text{ã}}+\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)} \tag{27}$$

Отсюда по аналогии с (22) получим

$$\Delta\tau_2=\tau_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)\cdot\frac{d\tau_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)}{dt}=\frac{\rho_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)}{\tilde{n}_{\text{ã}}}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)}{\tilde{n}_{\text{ã}}+\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)} \tag{28}$$

Переходя к обозначениям, принятым в [7], запишем

$$\rho_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)=\rho=a\cdot(1-e\cdot\cos E) \tag{29}$$

$$\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}\left(t\right)\right)=\dot{\rho}=\sqrt{\frac{\mu}{a}}\cdot e\cdot\frac{\sin E}{1-e\cdot\cos E} \tag{30}$$

Здесь a - большая полуось орбиты источника гравитационного сигнала,

e - эксцентриситет орбиты источника гравитационного сигнала,

μ - геоцентрическая константа гравитационного поля Земли,

E -эксцентрическая аномалия источника гравитационного сигнала.

Окончательно по аналогии с (23), получаем

$$t-t''=\Delta\tau_2=\frac{\sqrt{\mu\cdot a}}{c^2}\cdot e\cdot\sin E \tag{31}$$

Очевидно, что интервал времени $\Delta\tau_2$ можно трактовать, как не учитываемый интервал времени, приводящий к ошибке расчета координат источника гравитационного сигнала по известным формулам [3].

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial^2 x}{\partial t^2}+\frac{\partial U}{\partial x}=\frac{K_x}{m}\\
&\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}+\frac{\partial U}{\partial y}=\frac{K_y}{m}\\
&\frac{\partial^2 z}{\partial t^2}+\frac{\partial U}{\partial z}=\frac{K_z}{m}
\end{aligned} \tag{32}$$

где $\rho=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$,

$U=\dfrac{\mu}{\rho}$ - потенциал гравитационного поля Земли,

m - масса источника гравитационных волн,

K_x, K_y, K_z-вектор возмущающих сил, вызванных различными причинами помимо гравитационного притяжения источника центральным полем Земли.

Указанный интервал (31) зависит от U - потенциала гравитационного поля Земли следующим образом

$$t'' - t = \Delta\tau_2 = \sqrt{U} \cdot \frac{a}{c^2} \cdot e \cdot \sqrt{1 - e \cdot \cos E} \cdot \sin E \qquad (33)$$

Физически это не уход часов, в движущейся системе координат вызванный потенциалом гравитационного поля, как утверждается в ОТО, а не учтенный интервал времени, из-за игнорирования ТЗС.

Некоторые задачи, такие как расчет координат навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS, по принятой эфемеридной информации, требуют учета как запаздывания гравитационного взаимодействия, так и запаздывания электромагнитного сигнала излучаемого спутником.

Введем в рассмотрение момент времени предшествия гравитационного взаимодействия предшествию электромагнитного сигнала излучаемого спутником

$$t_{np,np}(t) = t_{np}(t) - \ t\left(t_{np,np}(t)\right) \qquad (34)$$

Обозначение момента времени предшествия электромагнитного сигнала излучаемого спутником оставим прежним.

С учетом выражения (14) для явления гравитационного взаимодействия запишем

$$\bar{X}_{È}\left(t_{ïð,np}(t)\right) =$$
$$\bar{X}_{È}\left(t_{ïð}(t)\right) - \tau_{ã}\left(t_{ïð,np}(t)\right) \cdot \dot{\bar{X}}_{È}\left(t_{ïð}(t)\right) + \tau_{ã}\left(t_{ïð,np}(t)\right) \cdot \frac{d\tau_{ã}\left(t_{ïð,np}(t)\right)}{dt} \cdot \dot{\bar{X}}_{È}\left(t_{ïð}(t)\right) \qquad (35)$$

С учетом того же выражения (14) для явления запаздывания электромагнитного сигнала подставим значение $\bar{X}_{È}\left(t_{ïð}(t)\right)$ в выражение (35) и получим

$$
\begin{aligned}
&\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)= \\
&\bar{X}_{\grave{E}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)+\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t) \\
&-\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\frac{d\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{dt}\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)= \\
&\bar{X}_{\grave{E}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)-\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+[\Delta\tau_2\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+\Delta\tau_1\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)]
\end{aligned}
\qquad (36)
$$

Здесь

$$
\Delta\tau_2=\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\frac{d\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{dt}=\frac{\rho_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{\tilde{n}_{\tilde{a}}}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{\tilde{n}_{\tilde{a}}+\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)} \qquad (37)
$$

$$
\Delta\tau_1=\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}=\frac{\rho_{\grave{E}\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)-\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)} \qquad (38)
$$

В связи с предполагаемым отсутствием или малой величиной ускорений источника как гравитационных взаимодействий, так и электромагнитных можно считать, что

$$\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)=\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t).$$

И тогда выражение (36) можно переписать в виде

$$
\begin{aligned}
&\bar{X}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)= \\
&\bar{X}_{\grave{E}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)+\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\frac{d\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{dt}\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t) \\
&-\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)+\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\frac{d\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{dt}\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)= \\
&\bar{X}_{\grave{E}}(t)-\tau\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)-\tau_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)+[\Delta\tau_1+\Delta\tau_2]\cdot\dot{\bar{X}}_{\grave{E}}(t)
\end{aligned}
\qquad (39)
$$

Таким образом, для источников электромагнитных сигналов, на которые оказывает существенное влияние гравитационное поле, общая задержка от эффектов ТЗС будет равна

$$
\begin{aligned}
&\Delta\tau=\Delta\tau_1+\Delta\tau_2= \\
&\frac{\rho_{\grave{E}\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)-\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}{\tilde{n}+\dot{\rho}_{\ddot{I}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)+\dot{\rho}_{\grave{E}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth}(t)\right)}+\frac{\rho_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{\tilde{n}_{\tilde{a}}}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}{\tilde{n}_{\tilde{a}}+\dot{\rho}_{\tilde{a}}\left(t_{\ddot{\imath}\eth,np}(t)\right)}
\end{aligned}
\qquad (40)
$$

Преобразование же координат нужно осуществлять в два этапа. Сначала учитывая запаздывание электромагнитного сигнала, можно получить

$$\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)=\frac{\rho_{\text{ÈÏ}}(t)-\tau\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\text{È}}(t)}{\{1-\frac{\dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\text{ñ}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)+\dot{\rho}_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\text{È}}(t)}{\text{ñ}+\dot{\rho}_{\text{Ï}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}\}} \tag{41}$$

А затем

$$\rho_{\text{ÈÏ}}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)=\frac{\rho_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)-\tau\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)\cdot\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\{1-\frac{\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)}{\text{ñ}_{\text{ã}}+\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)}\cdot\frac{\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð}}(t)\right)}{\text{ñ}_{\text{ã}}}\}} \tag{42}$$

Здесь

$\dot{\rho}_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)=e^{T}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)\cdot\dot{X}_{\text{È}}(t)$ радиальная скорость источника сигнала в момент предшествия предшествию,

$$e^{T}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)=\frac{\left[X_{\text{È}}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)-X_{\text{Ï}}(t)\right]^{T}}{\rho_{\text{ã}}\left(t_{\text{ïð},np}(t)\right)}$$

На первый взгляд, полученные выражения в рамках ТЗС, не существенно отличаются от известных соответствующих выражений в ОТО и СТО, но позволяют объяснить многие эффекты, до настоящего времени не объясненные физикой или объясненные в рамках гипотез. Один из эффектов упомянут в начале данной статьи. Математическому описанию таких эффектов будут посвящены последующие публикации.

Выводы

1. ТЗС, основываясь на классическом представлении о пространстве и времени, с учетом запаздывания сигнала от источника до приемника, приводит к преобразованиям координат и времени, похожим на преобразования Лоренца.
2. ТЗС позволяет учесть, как запаздывание электромагнитного сигнала, излучаемого источником и принимаемого приемником, так и запаздывание гравитационного взаимодействия между его источником и центральным полем тяготения.
3. ТЗС объясняет появление неучтенных временных задержек и истинное значение радиальной дальности в момент предшествия с точки зрения физики. В СТО эти явления проявляются как уход шкал времени

движущихся источников сигналов и преобразование координат, и выводятся только с помощью математического анализа.

Библиографический список

1. Жданов Л.С., Учебник по физике для средних специальных учебных заведений. Изд. 2-е,стереотипное, М: Наука, 1977, 592 стр. с ил.
2. Вовасов В.Е. - Доплеровское смещение частоты для навигационных приемников, установленных на высокодинамичных объектах.
3. Журнал "Телекоммуникации ", №11, 2012 г., стр.24-31.
4. ГЛОНАСС принципы построения и функционирования/ Под ред. Перова А.И. Харисова В.Н. Изд. 4-е, перераб. - М: Радиотехника, 2010, 800 с., ил.
5. Поваляев А.А., Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат. – М.: Радиотехника, 2008, 328 с., ил.
6. Иродов И.Е., Основные законы механики, Учебное пособие, М."Высшая школа", 1985, 251 с.
7. Ацюковский В.А., Логические и экспериментальные основы теории относительности, М., Издательство МПИ, 1990, 55 стр.
8. Relativity in the Global Positioning System, Neil Ashby, Dept. of Physics, University of Colorado Boulder, CO 80309–0390 U.S.A., 2003-01-28