**Для отчета по гранту РФФИ-РЖД 2013-2014**

Уточнение координат точек попадания лазера при угловых смещениях в различных системах координат

Левашев С.П.

***Введение***

В данной статье рассматривается уточнение координат точек попадания лазера в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат.

***1. Декартова прямоугольная система координат***

Рассмотрим декартову прямоугольную систему координат . В качестве начала координат возьмём точку *O*, которая лежит в горизонтальной плоскости посередине между колёсами. Пусть ось *Y* параллельна продольной оси вагона, ось *X* перпендикулярна ней. Ось *Z* перпендикулярна плоскости *XOY* и направлена вверх.

Считаем, что лазер жёстко закреплён на вершине локомотива так, что приёмный элемент лазера находится в плоскости *XOZ*. Можно указать координаты лазерного приёмника как (*x*0,*y*0,*z*0).

Сканирование будет осуществляться в плоскости XOZ движениями лазера вверх-вниз. Тогда - расстояние от лазера до середины вагона,,  - высота подвеса лазера.

Погрешности в результаты измерений вносят линейные и угловые колебания локомотива. Эти колебания связаны со многими причинами, например: неровностью полотна, наклонами, неравномерностью тяги и т.д. При этом величина ошибки измерения в общем случае растет с ростом расстояния до сканируемого объекта, а в тех случаях, когда луч в результате случайного колебания выходит за границы объекта, то получается попросту ложное измерение.

Будем считать, что для учета и вычисления поправок, компенсирующих указанные колебания, система лазерного сканирования оборудована шестью акселерометрами, измеряющими действующие на сканер три линейных и три угловых ускорения относительно введенных осей координат.

Пусть , ,  - функции линейных смещений лазера вдоль осей ,  и  соответственно, которые формируются с помощью линейных акселерометров; , ,  - функции угловых смещений лазера вокруг осей ,  и , получаемые по данным угловых акселерометров. Поскольку поезд движется, то относительно не подвижной системы координат меняется положение локомотива. Тогда в момент времени  координаты лазерного сканера в неподвижной системе координат равны .

Однако нам пока известны только три показателя акселерометра: угловые смещения.

Пусть направление излучения лазерного луча в неподвижной системе координат без учёта смещений задается вектором  единичной длины, .Тогда  и .

Как показано в [1], истинное положение лазера с учётом смещений равно:



где

 . 

Пусть  - расстояние от лазерного сканера до объекта, куда дотянулся лазерный луч.

Тогда координаты точки попадания лазерного луча равны:



***2. Цилиндрическая система координат***

Рассмотрим цилиндрическую систему координат . Будем считать, что лазер закреплён и движется также, как и в декартовой системе координат. Тогда координаты точек вектора начального и конечного направления равны:

 

Считаем, что вращение происходит в положительном направлении.

(РИСУНОК1)

Из рисунка видно, что



Тогда мы можем записать

 

И цилиндрические координаты попадания лазерного луча равны:

, где  можно найти из формулы для декартовой системы координат.

***Сферическая система координат***

Рассмотрим цилиндрическую систему координат . Будем считать, что лазер закреплён и движется также, как и в декартовой системе координат. Тогда координаты точек вектора начального и конечного направления равны:

 

(РИСУНОК2)

Из рисунка видно, что



Тогда получаем:

 

Нам остаётся выразить угол через тета\_1, данные угловых смещений акселерометра и известные компоненты вектора *h*. Для краткости в дальнейшем будем писать фи\_2, имея ввиду, что 

Для удобства развернём нашу сферическую систему координат, как показано на рисунке.

(РИСУНОК3)

Пусть:



Из рисунка получаем:









Из (3) и (4) получаем:



Подставляя (1) и (5) в (2), получаем:



Приводим подобные:





Возводим в квадрат обе части:



Снова приводим подобные:



Делим обе части на косинус^2(тета\_2) не равно 0



Решая это уравнение как квадратное и сделав тривиальные преобразования, получим:



Итак,



Отсюда координаты точек попадания лазерного луча в сферической системе координат



Аналогично можно было выразить и через угловое смещение по *y*:



**Литература**

1. Каркищенко А.Н. Уточнение ориентации луча лазерного сканера при линейных и угловых колебаниях