

Погрешность метода при определении скорости движущегося объекта лазерным дальномером на примере системы видеофиксации скорости автомобиля.

А.А. Домунян ¹.

¹ Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН

Недавно многим автомобилистам стали известны камеры видеофиксации нарушений на дорогах. Часто они измеряют скорость автомобиля и при превышении допустимой скорости более чем на 22 км/ч фотографируют автомобиль во время нарушения, распознают регистрационный знак, разыскивают в базе данных сведения о владельце автомобиля и подготавливают бумажное письмо с постановлением о привлечении к административной ответственности.

22 км/ч берутся из 20 км/ч – превышение скорости, которое не влечёт к административной ответственности в виде штрафа и 2 км/ч – погрешность радара камеры видеофиксации нарушений.

Откуда же берётся эта погрешность и действительно ли она равна всегда 2 км/ч? Радар камеры видеофиксации нарушений ПДД обычно расположен на столбе справа от дороги на высоте 5-7 метров над дорогой и направлен под углом как к горизонту, так и к линии обочины. Радар посылает радиосигнал, распространяемый со скоростью света и ловит отражённый сигнал от автомобиля. Ввиду эффекта Доплера, частота принимаемого сигнала будет зависеть от проекции скорости автомобиля вдоль оси радар-автомобиль. Естественно, если бы установщики радара могли поставить его прямо на асфальт в середине полосы, по которой будет проезжать автомобиль, то скорость, которую он измерит и была бы истинной скоростью автомобиля относительно дороги. Но это невозможно. И несмотря на то, что погрешность определения «радиальной скорости» радаром не хуже $\pm 0,1\%$, основная погрешность будет вылезать из-за неточности, связанной с преобразованием «радиальной скорости» в скорость автомобиля относительно асфальта, которую и требуется измерить.

Как происходит преобразование. Рассмотрим геометрическую задачу: Автомобиль движется в известной полосе движения параллельно дорожной разметке. Неподвижный радар закреплён под известным углом к прямой, параллельной дорожной разметке в плоскости асфальта. Известна проекция скорости автомобиля относительно радара. Найти скорость автомобиля относительно асфальта. Для решения задачи нарисуем прямоугольный треугольник AVR Рис. 1.

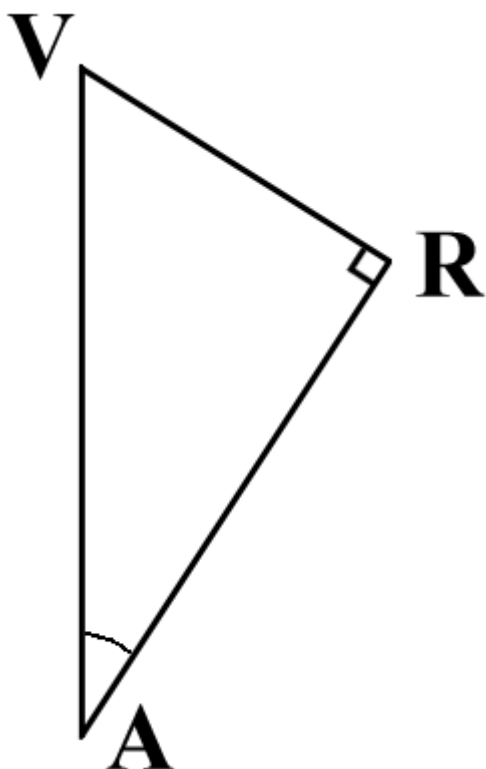


Рис. 1

Где схематично изображены А – текущее местоположение автомобиля, R – расположение радара, V – точка, на пути автомобиля. \overrightarrow{AV} лежит в плоскости асфальта параллельно линиям дорожной разметки, \overrightarrow{AR} – вектор радиальной (измеряемой радаром) скорости автомобиля. \overrightarrow{RV} – тангенциальная скорость автомобиля. \overrightarrow{AV} – скорость автомобиля относительно асфальта. Очевидна формула (1).

$$\overrightarrow{AV} = \overrightarrow{AR} + \overrightarrow{RV} \quad (1)$$

Покажем ограничения на построение такого треугольника. Ясно, что сам радар должен смотреть в сторону автомобиля. Вектор \overrightarrow{VA} должен когда-то пересечь сам автомобиль. Это может произойти в любой части автомобиля. Хотя внизу его, хоть вверху. Соответственно автомобили, проезжающие по полосам движения, расположенные левее точки, где вектор \overrightarrow{VA} пересекается с асфальтом не попадут в «зону видимости» радара. Также и те автомобили, чья крыша пройдет ниже вектора \overrightarrow{VA} тоже не попадут в «зону видимости» радара. Исходя из этого следует, что направление \overrightarrow{VA} стоит выбирать таким, чтобы точка А лежала в крайней левой полосе, а $\angle A$ был таким, чтобы высота перпендикуляра, опущенного из первой (крайней правой полосы) на плоскость асфальта была меньше высоты низкого автомобиля (140 см). В реальности мы видим, что для широких дорог (шире одной полосы) эти два условия в совокупности не выполняются. При высоте расположения радара в 5-7 метров и высоте автомобиля в 1,4 метра само место возможного попадания автомобиля в вектор \overrightarrow{VA} возможно только в часть ширины от точки А до нормальной проекции R на асфальт лежащую в диапазоне $0,28 > \frac{1,4}{5-7} > 0,2$ (здесь в числителе и в знаменателе дроби дефис, а не знак вычитания). Следовательно, для того, чтобы иметь возможность детектировать все полосы, необходимо отдалить радар от дороги на расстояние в 3-5 раз превышающее ширину дороги. Так как в настоящее время практически все радары расположены непосредственно у края дороги, то детектировать они могут не более 0,28 части ширины дороги. Что практически для любой дороги составляет одну, максимум две полосы движения.

Исходя из (1): $V = \frac{V_{rad}}{\cos A}$

Наглядно заметно, что радар устанавливается так, что точка А находится на расстоянии 30-50 метров от нормальной проекции точки V на асфальт. То есть $tg(A) = \frac{5-7}{30-50} \Rightarrow 0,1 \leq tg(A) \leq 0,23 \Rightarrow 5,7^\circ < \angle A < 12,9^\circ \Rightarrow 0,99 > \cos(A) > 0,97$. При погрешности в установке угла радара в 5° (что скорее всего в реальности не соблюдается) и при углах не более 13° мы имеем погрешность в вычислении косинуса угла не более 2,3%. Так как эта погрешность намного больше погрешности определения «радиальной скорости» радаром, то можем считать погрешность метода измерения скорости 2,3%. Производитель радаров утверждает, что погрешность измерения не превышает 2 км/ч на всём диапазоне измерения скоростей (от 5 км/ч до 180 км/ч). То есть не более 1% от измеренной скорости мы видим, что в реальности на погрешность измерения скорости сильно влияет точность установки угла радара ($\angle A$) относительно того угла, который запрограммирован в системе вычисления скорости радара.

Все эти измерения были справедливы при проезде автомобиля в прямом направлении. В реальности же автомобиль во время измерения его скорости может перестраиваться. То есть невольно изменять $\angle A$. Сама величина изменения $\angle A$ зависит от самого $\angle A$, от угла между направлением движения автомобиля и линиями разметки дороги. А также от расстояния от автомобиля до нормальной проекции точки R на асфальт. В среднем я оцениваю изменения $\angle A$ не более, чем в 30% от угла движения автомобиля относительно линий разметки во время перестроения между рядами. Этот угол вполне может достигать 45° . Соответственно при достаточно резком перестроении автомобиля из полосы движения в соседнюю полосу погрешность измерения его скорости может достигать $\frac{\cos 13^\circ - \cos(13^\circ + 15^\circ)}{\cos 13^\circ} \approx 24\%$. То есть суммарная погрешность измерения скорости движения автомобиля при таком перестроении может превышать 25%.

Литература

1. <http://alizar.ru/strelka.pdf>

2. <http://alizar.ru/ККДАС-01СТ.pdf>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Полицейский_радар