Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Физико-механический факультет
Кафедра теоретической механики

Метод анализа данных MEMS-датчиков для определения характеристик движения спортсмена

Студент: Н. Г. Двас (выпуск 2011).
Научный руководитель: В. А. Кузькин.
Совместно с Horis Ltd. (Игорь Керницкий)
Для проекта Alpine Replay (Анатолий Локшин)

iPhone и другие смартфоны имеют микроэлетромеханические датчики. Эти датчики измеряют
- ускорение,
- угловую скорость,
- индукцию магнитного поля.

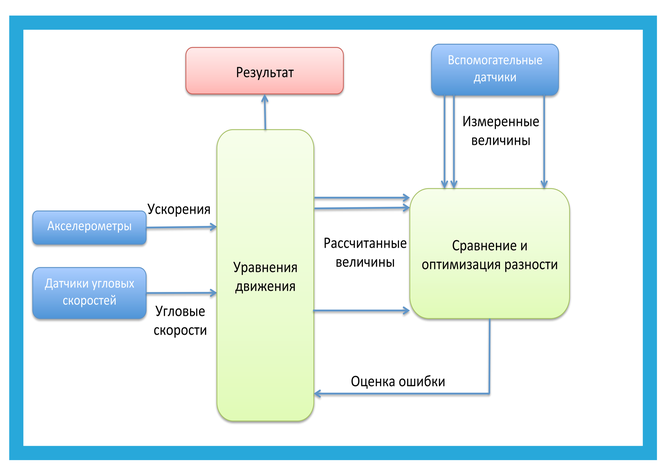
Задача – определить повороты и прыжки спортсмена, используя измерения смартфона

Определение поворота:
- магнитный вектор используется для минимизации ошибки на каждом шаге интегрирования уравнений движения,
- оценка ошибки производится итеративно до получения оптимальной оценки.

Определение прыжков:
- новый важный критерий прыжка: после прыжка спортсмен приземляется (и имеет очень большое ускорение),
- для определения прыжков используется нечеткая логика

Повороты

Описание движения – кватернионы. Два факта:
- Кватернионы, совмещающие два орта, образуют однопараметрическое семейство;
- Кватернион, совмещающий две пары неколлинеарных ортов – единственный с точностью до знака.



Уравнение движения:

$$\dot{\Lambda} = \frac{1}{2}\boldsymbol{\omega} \circ \Lambda$$

Можно найти семейство кватернионов, правильно поворачивающих известный магнитный вектор

$$\Lambda_M^k(\psi_k) = \left(\cos\frac{\psi_k}{2} + \sin\frac{\psi_k}{2}\mathbf{m}_k'\right) \circ \Lambda^R(\mathbf{m}_k', \mathbf{m}_k)$$

В идеале кватериноны, найденные двумя способами должны совпасть. Параметр (угол) следует найти так, чтобы они были как можно ближе.

$$\psi_k^{\text{opt}} = \arg\left(\min_{\psi_k}\min\left(\left|\left|\Lambda_M^k(\psi_k) - \Lambda_I^k\right|\right|, \left|\left|\Lambda_M^k(\psi_k) + \Lambda_I^k\right|\right|\right)\right).$$

Ошибка оценивается как норма разности между найденной парой кватернионов

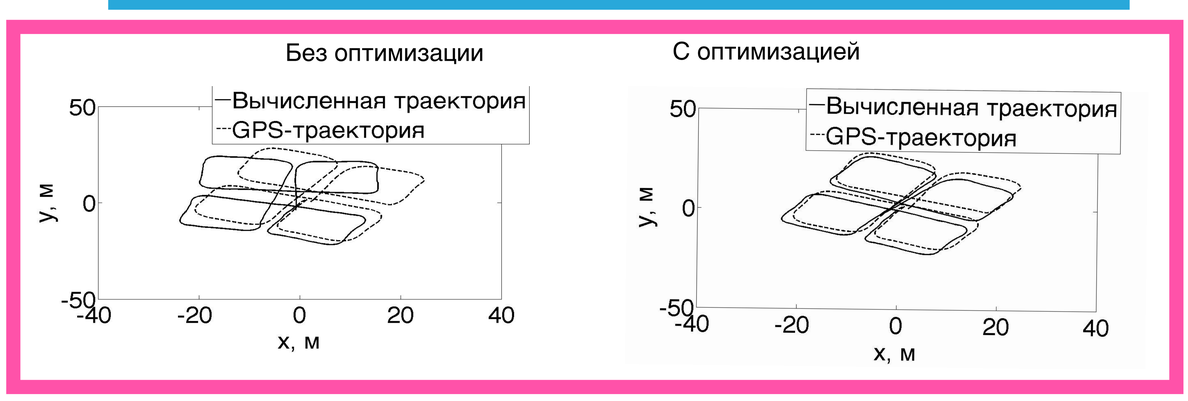
$$\varepsilon_k = \min\left(\left|\left|\Lambda_M\left(\psi_k^{\text{opt}}\right) - \Lambda_I^k\right|\right|, \left|\left|\Lambda_M\left(\psi_k^{\text{opt}}\right) + \Lambda_I^k\right|\right|\right)$$

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_k$$

Модель ошибки измерений угловой скорости включает в себя помимо всего прочего постоянный коэффициент Γ

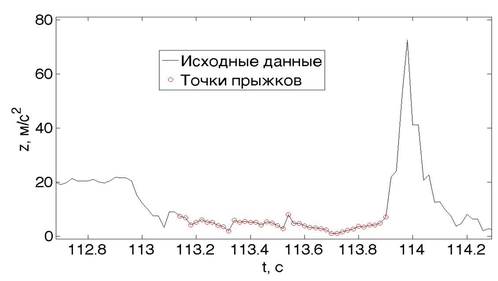
$$\boldsymbol{\omega}^k = \Gamma\boldsymbol{\omega}\left(t^k\right) + \boldsymbol{\gamma}^k + \boldsymbol{\omega}_0$$

При прочих равных можно подобрать оценку Γ так, чтобы она минимизировала ε



Прыжки

Из входных данных используется только норма ускорения. Паттерн его изменения во время прыжка таков



Условия прыжка:

Прыжок должен быть достаточно продолжительным И

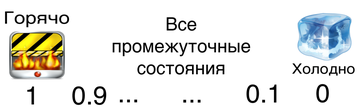
Среднее ускорение во время прыжка должно быть достаточно маленьким И

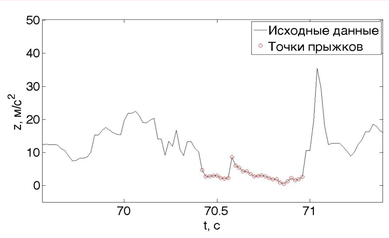
Минимальное ускорение во время прыжка должно быть достаточно маленьким И

После прыжка должен следовать удар, при этом
- удар должен быть достаточно недалеко от завершения прыжка И
- ускорение во время удара должно быть достаточно большим И
- пик ударного ускорения должен быть достаточно острым.

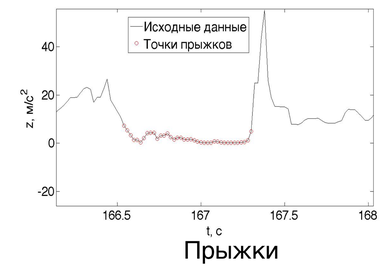
"Четкая" логика

"Нечеткая" логика

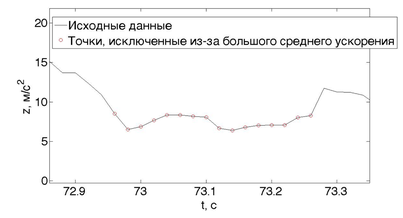




Не прыжок (нет удара)



Прыжки



Не прыжок (большое

Результаты:
- Для детектирования прыжков предложен метод, позволяющих получить семейство алгоритмов решения задачи
- Для определения ориентации получен алгоритм, минимизирующий накопление ошибки интегрирования уравнений движения