

УДК 004.9

АЛГОРИТМИ ГЕНЕРАЦІЇ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

Порицький О.В.

Донецький національний технічний університет

У докладі розглянуті проблеми створення системи, яка генерує траєкторію руху повільно рухомого об'єкту, використовуючи карту місцевості та поточні координати об'єкту. Виконано аналіз сучасних алгоритмів пошуку шляху на зваженому графі. Розглянуті сучасні математичні моделі руху судна, як один із видів повільно рухомого об'єкту. Зроблено висновок про адаптацію алгоритму пошуку шляху на графі до математичної моделі руху судна.

У цьому докладі досліджується створення системи керування повільно рухомих об'єктом з високою інертністю. Ця система має генерувати найкращу траєкторію до цілі з поточного місця. А також вона має провести об'єкт уздовж цієї траєкторії. У сучасних умовах розвитку науково-технічного прогресу рівень обчислювальних пристроїв дозволяє практично без обмежень реалізовувати різні алгоритми керування рухомими об'єктами.

Сучасні системи навігації рухомих об'єктів будуються як інтегровані (комплексовані), які поєднують у собі автономну одометричну навігаційну систему та супутникову навігаційну систему. Інтегровані навігаційні системи у поєднанні з елементами електронної картографії все частіше застосовуються у сучасних наземних рухомих об'єктах на гусеничному та колісному шасі, які виконують завдання як у складі комплексів, так і автономно [1]. Проте питання використання алгоритмів для повільно рухомих об'єктів з великою інертністю розглянуті не достатньо.

Тема цього доповіді має актуальне значення, так як розвиток рухомих об'єктів ніколи не зупиняється, і в цій галузі недостатньо кваліфікованих операторів. Наприклад, для підготовки капітанів кораблів вищого рівня потрібно мати велику матеріальну базу, тобто, судно для тренування, але це з точки зору економіки потребує великих коштів. Навігаційні системи, до складу яких входить пристрій генерації траєкторії руху, вирішують цю проблему, як з економічного боку, так і з боку безпеки життєдіяльності. Розробляються системи нового рівня, які можуть підвищити безпеку рухомого об'єкту, зменшивши кількість аварій. З боку екологів ця проблема теж актуальна, адже зменшаться викиди отруйних речовин у водні та повітряні простори. З соціального боку зменшиться число загиблих людей при аваріях масового транспорту. Все вищевикладене і визначає актуальність питань, що розглядаються в даній роботі.

Зараз навігаційні тренажерні комплекси використовуються в усіх навчальних закладах, що займаються підготовкою операторів вищого рівня. Виробники тренажерів безперервно удосконалюють алгоритми роботи та обладнання пристроїв, що сприяє підвищенню реалістичності тренажерів. Враховуючи це, можна вважати, що дана робота має велику практичну цінність.

Для реалізації властивостей такої системи генерації траєкторії руху треба мати:

- цифрову мапу місцевості, де буде виконуватися пошук шляху;
- GPS-приймач для визначення поточних координат;
- координати місця призначення, куди треба дістатися;
- обчислювальні потужності, на яких буде виконуватися програмне забезпечення, яке розробляється.

Для написання програмного забезпечення системи генерації траєкторії руху підійде наступний алгоритм:

1. Отримання координат пункту призначення від оператора.
2. Завантаження цифрової мапи місцевості з пристрою зберігання даних.
3. Обчислення поточного місця розташування за допомогою GPS-приймача.
4. За допомогою алгоритму пошуку шляху генерується траєкторія руху.
5. Система намагається провести рухомий об'єкт по цій траєкторії до цілі.
6. Якщо об'єкт відхиляється від траєкторії на значну величину алгоритм повертається на пункт 3.

У якості алгоритму пошуку шляху було проаналізовано сучасні алгоритми пошуку на графі, якими виявились: алгоритм Дейкстри, алгоритм Беллмана-Форда, алгоритм Флойда-Уоршелла, алгоритм Джонсона та алгоритм пошуку A*. Алгоритм пошуку буде виконуватися на інтегрованій системі, яка має не велику обчислювальну потужність. Тому вагомим аргументом при виборі з вище викладених алгоритмів стала складність алгоритму.

За свою логарифмічну складність алгоритм пошуку A* був обраний для використання в системі генерації траєкторії руху. Це алгоритм пошуку по першому найкращому збігу на графі, який знаходить маршрут з мінімальною вартістю від однієї вершини (початкової) до іншої (цільової, кінцевої).

Порядок обходу вершин визначається евристичної функцією «відстань+вартість» (зазвичай позначається як $f(x)$). Ця функція - сума двох інших: функції вартості досягнення даної вершини (x) з початкової (зазвичай позначається як $g(x)$) і може бути як евристичної, так і ні) і евристичної оцінкою відстані від розглянутої вершини до кінцевої (позначається як $h(x)$) [2].

Використання алгоритму пошуку шляху у такому виді неможливо для генерації траєкторії повільно рухомого об'єкту з великою інертністю. Тому що цей алгоритм не звертає уваги на те що рухомий об'єкт з великою інертністю не може пройти по будь-якій траєкторії. Щоб використовувати даний алгоритм для генерації траєкторії руху повільно рухомих об'єктів його треба адаптувати до математичної моделі руху рухомого об'єкту з великою інертністю.

Як відомо, в загальному випадку математична модель динамічної системи, що керується, описує з тим або іншим ступенем точності зміну станів даної системи з плином часу при заданих керуючих впливах і заданих умовах функціонування системи і може бути представлена наступним чином:

$$S(t) = F(t, S(0), U(t), L(t), E(t)), \quad (1)$$

де F – деяка векторна функція або оператор, що характеризує дану конкретну математичну модель;

$S(t)$ – сукупність параметрів, що описують стан системи в момент часу t ;

$U(t)$ – керуючі впливи на систему в різні моменти часу;

$L(t)$ – функція навантаження на систему;

$E(t)$ – функція зовнішніх збурюючих впливів на систему.

Таким чином, модель є безперервною з кінцевим числом параметрів стану. Найбільш природна форма подання такої математичної моделі – система звичайних диференціальних рівнянь, а більш конкретно – система з 3 диференціальних рівнянь 2-ого порядку, як це впливає з класичної механіки для випадку плоскопаралельного руху твердого тіла:

$$d^2S / dt^2 = F(t, C, dS/dt, S(t), U(t), L(t), E(t)). \quad (2)$$

Ця модель в більш розгорнутому вигляді виглядає так:

$$\begin{cases} d^2x_0/dt^2 = \sum_i F_{x0i}(t, \mathbf{C}, dx_0/dt, dy_0/dt, dq/dt, x_0(t), y_0(t), q(t), \mathbf{U}(t), \mathbf{L}(t), \mathbf{E}(t)) / m \\ d^2y_0/dt^2 = \sum_i F_{y0i}(t, \mathbf{C}, dx_0/dt, dy_0/dt, dq/dt, x_0(t), y_0(t), q(t), \mathbf{U}(t), \mathbf{L}(t), \mathbf{E}(t)) / m \\ d^2q/dt^2 = \sum_i M_i(t, \mathbf{C}, dx_0/dt, dy_0/dt, dq/dt, x_0(t), y_0(t), q(t), \mathbf{U}(t), \mathbf{L}(t), \mathbf{E}(t)) / I_z \end{cases} \quad (3)$$

Однак із практичної точки зору зручніше розглядати рівняння відносно не самих координат і курсового кута, а їх похідних характеристик – лінійної швидкості v , кутової швидкості w і кута дрейфу β . Тому більшістю авторів використовується наступна еквівалентна структура математичної моделі, в якій використовуються відразу дві системи координат – рухома і нерухома – і всі сили розкладаються на проекції по осях рухомої неінерційної системи координат (x, y) , пов'язаної з самим судном (рис. 1).

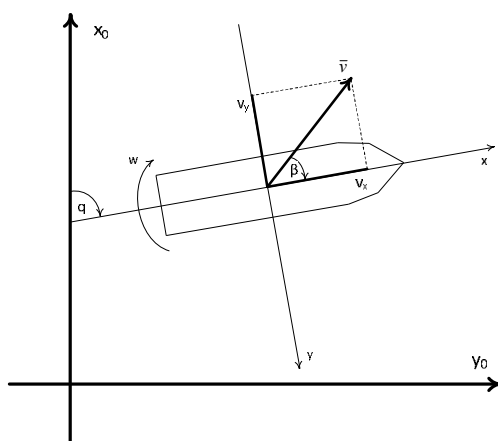


Рисунок 1 – Системи координат

Для розробки програмного забезпечення, що дозволить експериментально досліджувати алгоритми генерації траєкторії руху рухомого об'єкту з великою інертністю треба використовувати конкретну математичну модель руху об'єкту. У якості такої моделі була обрана математична модель руху судна (4), яка є класичним приміром повільно рухомого об'єкту з великою інертністю.

За допомогою цієї моделі алгоритм пошуку шляху на кожному кроці зможе оцінювати можливість рухомого об'єкту перейти на наступну ділянку з безлічі можливих.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 dx_0 / dt = v \cos (q - \beta); \\
 dy_0 / dt = v \sin (q - \beta); \\
 dq / dt = w; \\
 \frac{dv}{dt} = -v w \sin \beta \cos \beta \left(\frac{1}{1+k_{11}} - \frac{1}{1+k_{22}} \right) - \frac{(\sum_i F_{yi}) \sin \beta}{(1+k_{22}) p V} + \frac{(\sum_i F_{xi}) \cos \beta}{(1+k_{11}) p V}; \\
 \frac{d\beta}{dt} = w \left(\frac{\sin^2 \beta}{1+k_{11}} - \frac{\cos^2 \beta}{1+k_{22}} \right) - \frac{(\sum_i F_{xi}) \sin \beta}{(1+k_{11}) p V} + \frac{(\sum_i F_{yi}) \cos \beta}{(1+k_{22}) p V}; \\
 \frac{dw}{dt} = \frac{\sum_i M_i}{(1+k_{66}) I_z}; \\
 \sum_i F_{xi}(t, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)) = X_\sigma + X_p + T_E + X_{\text{внеш}}; \\
 \sum_i F_{yi}(t, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)) = Y_\sigma + Y_p + T_{\text{ПУ}} + Y_{\text{внеш}}; \\
 \sum_i M_i(t, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)) = M_\sigma + M_p + M_{\text{ПУ}} + M_{\text{внеш}}.
 \end{array} \right. \quad (4)$$

У системі (4) X_σ , Y_σ , M_σ – поздовжня і поперечна сила і момент гідродинамічного опору на корпусі; X_p , Y_p , M_p – сили, створювані звичайним кермом; T_E – ефективний упор гребного гвинта; $T_{\text{ПУ}}$, $M_{\text{ПУ}}$ – ефективний упор пристрою, що підрулює і створюваний ним момент; $X_{\text{внеш}}$, $Y_{\text{внеш}}$, $M_{\text{внеш}}$ – сили, зумовлені зовнішніми умовами плавання - вітром, течією, хвилюванням і т. п.. Кожна з сил і моментів, а також ряд інших величин в системі (4) залежать від сукупності факторів (t , C , $v(t)$, $w(t)$, $\beta(t)$, $x_0(t)$, $y_0(t)$, $q(t)$, $U(t)$, $L(t)$, $E(t)$), однак для простоти запису знак такої функціональної залежності опускається.

Будь-яка з існуючих математичних моделей включає в себе систему рівнянь (4) в повному або спрощеному і огрубленому вигляді, доповнену сукупністю формул, які задають залежність всіх сил і моментів (X_σ , Y_σ , M_σ , X_p , Y_p , M_p , T_E , $T_{\text{ПУ}}$, $M_{\text{ПУ}}$, $X_{\text{внеш}}$, $Y_{\text{внеш}}$, $M_{\text{внеш}}$) від факторів (T , C , $v(t)$, $w(t)$, $\beta(t)$, $x_0(t)$, $y_0(t)$, $q(t)$, $U(t)$, $L(t)$, $E(t)$). Саме вигляд цих формул визначає специфіку кожної математичної моделі. [3]

У даному докладі розглянуто проблему створення системи генерації траєкторії руху для повільно рухомих об'єктів і конкретно суден. З доклада видно що таку систему можна побудувати. Вона підвищить безпеку рухомих об'єктів та зменшить необхідний персонал.

Література

- [1] Бондарук А.Б., Глухов В.С., Євтушенко К.С., Оліярник Б.О «Гарантоздатна інтегрована система навігації рухомих наземних об'єктів» – Львів, 2008р.
- [2] Вільна енциклопедія Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <http://ru.wikipedia.org/wiki/A>*
- [3] Юдин Ю.И., Сотников И.И. «Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ» – Мурманск, 2006р.