

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВИДУ RECEIVED SIGNAL STRENGTH ПАСИВНИХ RFID-МІТОК

Савочкін Д.О.

Севастопольський національний технічний університет

E-mail: dmytro.savochkin@gmail.com

Modeling received signal strength measurement data for passive RFID tags

An approach for modeling measurement data of received signal strength (RSS) type for passive RFID tags is presented. The approach takes into account radiation patterns of reader and tags' antennas and the polarization mismatch.

У теперішній час актуальною є задача просторової локалізації об'єктів усередині закритих приміщень. Одним з рішень такої задачі може бути застосування систем на базі технології радіочастотної ідентифікації (radio frequency identification, RFID) [1-2]. При використанні RFID-систем на об'єктах локалізації встановлюють спеціальні RFID-мітки. У ході локалізації декількома антенами зчитувача системи збирається вимірювальна інформація (ВІ) від міток, після чого за допомогою алгоритму локалізації для кожної мітки формується оцінка її положення. При цьому в якості ВІ часто використовують рівні потужності сигналів відповіді міток (received signal strength, RSS).

Аналіз ефективності алгоритмів локалізації виконують шляхом порівняння середньої помилки локалізації, що забезпечується кожним з алгоритмів. При цьому для обчислення середньої помилки необхідно мати достатньо великий обсяг ВІ, який може бути отриманий від реальних міток на базі сконструйованої RFID-системи. Однак очевидно, що етап збору ВІ може бути досить трудомістким. У зв'язку з цим в даній роботі пропонується методика моделювання ВІ виду RSS, що дозволяє виключити етап фізичного збору ВІ.

Залежність потужності $P_{in}(d)$ сигналу відповіді RFID-мітки (величина RSS), що одержується антеною зчитувача, від відстані d між міткою та антеною може бути описана за допомогою відомого виразу [3]:

$$P_{in}(d) = \frac{P_{out} G^2 \lambda^2 \xi}{(4\pi)^3 d^4}, \quad (1)$$

де P_{out} — потужність запитального сигналу; G — коефіцієнт посилення антени зчитувача; λ — довжина хвилі; ξ — ефективна площа розсіювання RFID-мітки.

Однак вираз (1) не враховує спрямованість антен зчитувача і RFID-мітки. У зв'язку з цим в чисельник виразу необхідно ввести додаткові множники — нормовані діаграми спрямованості (ДС) антени зчитувача і антени мітки (в другому степені, оскільки враховується як прийом, так і передача):

$$P_{in}(d) = \frac{P_{out} G^2 F_r^2(\theta_r, \varphi_r) F_t^2(\theta_t, \varphi_t) \lambda^2 \xi}{(4\pi)^3 d^4}, \quad (2)$$

де $F_r(\theta_r, \varphi_r)$ — нормована ДС антени зчитувача; θ_r — азимутальний кут антени зчитувача; φ_r — кут між вертикальною (z координата) віссю антени зчитувача і віссю, спрямованою з центру антени на мітку; $F_t(\theta_t, \varphi_t)$ — нормована ДС антени RFID-мітки; θ_t — кут між поздовжньою (x координата) віссю мітки і віссю, спрямованою з центру мітки на антену зчитувача; φ_t — кут між поперечною (y координата) віссю мітки і віссю, направленою з центру мітки на центр проекції антени зчитувача на площину yOz .

Крім діаграм спрямованості необхідно враховувати орієнтацію площин поляризації антен зчитувача і міток. У RFID-системах часто використовують антени з лінійною поляризацією через їх меншу вартість. При цьому зазвичай на етапі проектування домовляються про те, що RFID-мітки можуть бути розташовані на об'єктах локалізації тільки певним способом (наприклад, паралельно осям x або y). Тоді, якщо розміщувати антени зчитувача так, щоб площина поляризації становила кут $\psi = 45^\circ$ з віссю x і з віссю y , буде спостерігатиметься постійний коефіцієнт неузгодженості по поляризації незалежно від того, де і як (паралельно осі x чи y) розташована конкретна мітка. Будемо дотримуватися подібного допущення. Введемо коефіцієнт μ неузгодженості по поляризації в вираз (2) (в четвертому степені, оскільки обчислюється потужність, а також через врахування передачі й прийому):

$$P_{in}(d) = \frac{P_{out} G^2 F_r^2(\theta_r, \varphi_r) F_t^2(\theta_t, \varphi_t) \mu^4 \lambda^2 \xi}{(4\pi)^3 d^4}, \quad (3)$$

де $\mu = \cos(\psi)$ — коефіцієнт неузгодженості по поляризації.

Нормовану діаграму спрямованості $F_r(\theta_r, \varphi_r)$ антени зчитувача пропонується задавати за допомогою фігури еліпсоїда:

$$F_r(\theta_r, \varphi_r) = \frac{\sqrt{\frac{a^2 b^2 c^2}{b^2 c^2 \cos^2 \theta_r \sin^2 \varphi_r + a^2 c^2 \sin^2 \theta_r \sin^2 \varphi_r + a^2 b^2 \cos^2 \varphi_r}}}{\max(a, b, c)}, \quad (4)$$

де a, b, c — довжини півосей еліпсоїда.

На практиці проводити обчислення величин RSS зручніше при завданні позицій антен в декартовій системі координат. У зв'язку з цим, запишемо вирази для кутів θ_r і φ_r як функцій від декартових координат точок розташування антени зчитувача і антени мітки (у припущенні, що площина поляризації антени зчитувача збігається з площиною xOz):

$$\theta_r(r, t) = \arcsin \left\{ (r_y - t_y) / \left[\sqrt{(r_y - t_y)^2 + (r_x - t_x)^2} \right] \right\}; \quad (5)$$

$$\varphi_r(r, t) = \arctg \left\{ \left[\sqrt{(r_y - t_y)^2 + (r_x - t_x)^2} \right] / (r_z - t_z) \right\}, \quad (6)$$

де $r = (r_x, r_y, r_z)$ — координати точки розміщення антени зчитувача; $t = (t_x, t_y, t_z)$ — координати точки розміщення антени RFID-мітки.

Підставивши вирази (5)-(6) в (4), можна отримати вираз нормованої ДС антени зчитувача у вигляді функції двох змінних: декартових координат точки r місця розташування антени зчитувача і точки t місця розташування мітки.

Антени RFID-міток моделюються на основі симетричного вібратора, оскільки геометрія антен багатьох представлених на ринку пасивних міток (наприклад [4]) являє собою популволновий симетричний вібратор у вигляді плоскої структури. Відомо, що діаграма спрямованості півхвильового симетричного вібратора в площинах E і H описується наступними виразами [5]:

$$F_t(\theta_t) = \left| \frac{\cos(0,5\pi \cos \theta_t)}{\sin \theta_t} \right|; \quad (7)$$

$$F_t(\varphi_t) = 1. \quad (8)$$

Запишемо кут θ_t як функцію від координат антени зчитувача і антени мітки в декартовій системі з центром у точці розміщення антени мітки (у припущенні, що вібратор мітки розташований паралельно осі x):

$$\theta_t(r, t) = \text{angle} \left(r_x - t_x, \sqrt{(r_y - t_y)^2 + (r_z - t_z)^2} \right), \quad (9)$$

де $\text{angle}(l_1, l_2)$ — операція знаходження кута між віссю x і відрізком, що з'єднує точки $(0, 0)$ та (l_1, l_2) , у діапазоні $[0, 2\pi)$.

Підставляючи (9) в (7) і беручи до уваги (8), можна отримати вираз нормованої ДС антени RFID-мітки у вигляді функції змінних r і t .

Перепишемо функцію $P_{in}(d)$ як функцію від змінних r і t :

$$P_{in}(r, t) = \frac{P_{out} G^2 F_r^2(\theta_r, \varphi_r) F_t^2(\theta_t, \varphi_t) \mu^4 \lambda^2 \xi}{(4\pi)^3 \left[(r_z - t_z)^2 + (r_x - t_x)^2 + (r_y - t_y)^2 \right]}. \quad (10)$$

Таким чином, функція $P_{in}(r, t)$ дозволяє обчислити потужність сигналу відповіді RFID-мітки, яка розміщена в точці t , прийнятого антеною зчитувача, що розміщена в точці r . При необхідності в функцію $P_{in}(r, t)$ можна ввести помилкову компоненту, що дозволить моделювати помилки вимірювання або вплив будь-яких фізичних об'єктів, розташованих поблизу з міткою.

Література

1. Zhou J. RFID localization algorithms and applications—a review / J. Zhou, J. Shi // Journal of intelligent manufacturing. – 2009. – Vol.20, No 6. – P. 695-707.
2. Sanpechuda T. A review of RFID localization: Applications and techniques / T. Sanpechuda, L. Kovavisaruch // 5th International conference on electrical engineering/electronics, computer, telecommunications and information technology, 2008. Vol. 2. P. 769-772.
3. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин [и др.]; под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
4. ALN-9654 G Inlay / Alien Technology. – <http://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Alien-Technology-Higgs-3-ALN-9654-G.pdf>. – 31.12.2014.
5. Бова Н.Т. Антенны и устройства СВЧ / Н.Т. Бова, Г.Б. Резников. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 278 с.