

УДК 519.7

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

А. Б. Колесник<sup>1</sup>, Л. В. Колесник<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, gunter@arko.ua<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

Проведен анализ текущего состояния развития систем определения координат и параметров состояния мобильных объектов в беспроводных сетях. Предложен метод определения координат беспроводных терминалов, не использующий системы глобального позиционирования.

**ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ, УЗЕЛ СЕТИ, ТОЧКА ДОСТУПА.**

### Введение

Для эффективного управления беспроводными сетями немаловажную роль играет процедура своевременного и непрерывного обновления информации о перемещениях мобильных терминалов внутри сети и возможной миграции терминалов из соты в соту и из одной подсети в другую. Решение данной проблемы при помощи систем, использующих методы, основанные на GPS и GIS (система глобального позиционирования и система глобального информирования, соответственно), далеко не всегда экономически и технически оправдано. Связано это не столько с относительной дороговизной абонентской платы за такие услуги, но и со сравнительно низкой точностью определения физических координат мобильных объектов. Сама технология спутникового позиционирования позволяет определять физические координаты с точностью до нескольких метров, однако министерство обороны США, которой принадлежит система GPS, искусственно завышает погрешность определения местоположения объектов до 30 метров, что может быть неприемлемо для адекватного отслеживания миграций мобильных объектов в условиях сравнительно небольших по площади беспроводных сетей.

Целью настоящей статьи является разработка метода определения координат мобильных терминалов без привязки к спутниковым системам глобального позиционирования мобильных объектов с заданной точностью.

### 1. Системы самопозиционирования

Для определения (вычисления) координат мобильных терминалов, как физических, так и виртуальных, обратимся к усовершенствованному алгоритму «самопозиционирования», не использующему систему глобального позиционирования, применение которой может быть неоправданно дорого для небольших беспроводных вычислительных сетей. Данный алгоритм является распределенным, использующим для вычисления координат мобиль-

ных терминалов расстояния между точками доступа и мобильными терминалами. Метод основывается на построении набора локальных систем координат для каждого из сегментов сети и исследовании их по отношению к общей системе координат, которая является единой для всей беспроводной ЛВС. Основная роль мобильных агентов в данном алгоритме заключается в определении мобильных терминалов по их идентификаторам и последовательном, повторяющемся во времени вычислении их координат как виртуальных, так и физических, раскрывая, таким образом, топологию всей беспроводной сети. Для вычисления координат предлагается [1] использовать «Метод времени прибытия», который вычисляет данные о расстояниях между мобильными терминалами, расстояния между мобильными терминалами и точками доступа, а также угловые пропорции между узлами сети. Для определения расстояний между мобильными устройствами и точками доступа используется метод, базирующийся на том, что скорость света, а следовательно, и скорость распространения электромагнитных волн в воздушной среде конечна, и разница во времени между временем старта передачи данных из терминала-источника передачи данных и временем получения данных на терминале-приемнике информации хоть и невелика, но существует.

### 2. Построение локальной системы координат мобильных объектов

Изначально необходимо для каждого сегмента сети (точки доступа и набора мобильных терминалов, находящихся в зоне покрытия этой точки доступа) построить локальную систему координат. Пример такой системы локальных координат представлен на рис. 1.

Точку доступа целесообразно использовать как начало системы координат, координаты которой принимают значение (0, 0). Координаты всех мобильных терминалов, входящих в данный сегмент, вычисляются относительно точки доступа. Более

того, все мобильные терминалы являются «соседями» для точки доступа. Из спецификации вычислительных сетей: два узла сети  $i$  и  $j$  являются соседями, если передача данных между ними осуществляется напрямую — за один раз.

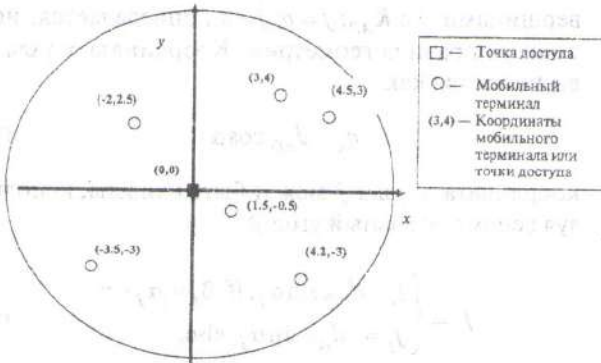


Рис. 1. Локальная система координат для отдельно взятого кластера беспроводной сети

Для проводных сетей при выборе очередного промежуточного сетевого узла во время сеанса передачи данных важную роль играет понятие так называемых терминалов-соседей. Они представляют собой множество  $S$ ,  $S \in N$ , то есть множество терминалов, между которыми нет промежуточных терминалов. В подобных сетях, вследствие неподвижности сетевых терминалов, множество  $S$  выделить сравнительно просто. Более того, эта процедура проводится один раз, еще на этапах идентификации сетевой топологии.

На рис. 2 представлен пример проводной сетевой топологии, где у терминала  $T$  множество соседей состоит из трех терминалов, обозначенных как  $C$ .

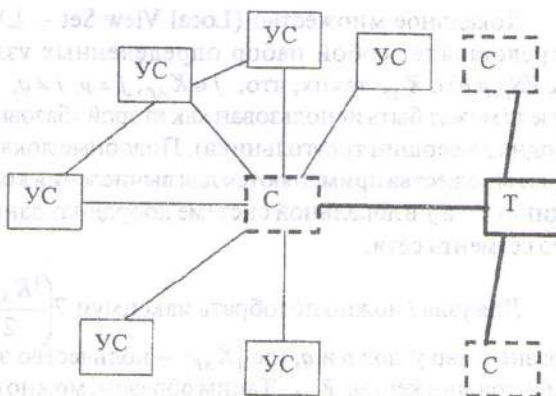


Рис. 2. Пример множества  $S$

Исходя из специфики мобильных беспроводных сетей (мобильность сетевых узлов и отсутствие проводных соединений), необходимо обусловить единое правило формирования множества терминалов соседей  $S$ . Теоретически для мобильных сетей мно-

жество терминалов-соседей состоит из всей совокупности сетевых терминалов, с которыми возможна связь, но, исходя из соображений поддержания высокого уровня помехоустойчивости и надежности сетевых соединений, это множество искусственно уменьшают —  $S^o \in S$ ,  $S^o \leq S$  для всех терминалов, где  $d_{TC} \leq d_{max}$ .

На рис. 3 представлен вариант беспроводной сетевой топологии, где множество терминалов-соседей обозначены  $C$ , а терминалы, не попавшие в это множество, —  $УС$ . Штрихпунктирная линия задает потенциальный радиус, определяющий размер множества соседей, а пунктирная — реальное множество. Для удобства представления множество терминалов-соседей изображается на графе соединенными линиями связи.

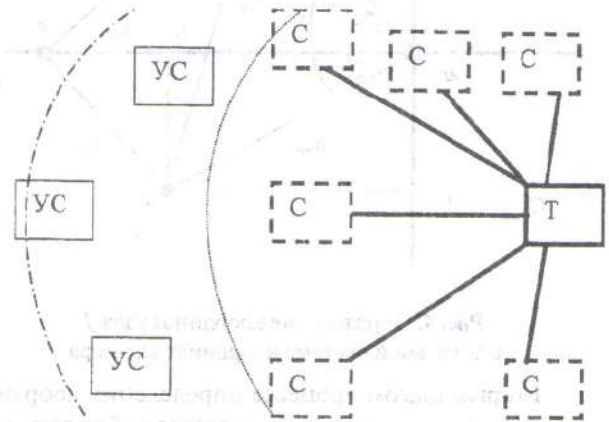


Рис. 3. Пример определения множества терминалов-соседей для беспроводных сетей

Для описания структуры сегмента сети используются следующие данные:

- 1)  $N$  — набор всех узлов в сети;
- 2) для любого  $j \in N$  существует набор узлов  $K_{AP}$  такой, что для каждого  $j \in K_{AP}$   $j$  является «соседом» для точки доступа данного кластера;
- 3)  $K_{AP}$  — набор всех мобильных терминалов внутри данного кластера беспроводной ЛВС;
- 4)  $\forall j \in N$  существует набор узлов  $D_{AP}$ , который представляет собой перечень приблизительных расстояний между данной точкой доступа и ее внутренними беспроводными терминалами.

Соседи кластера (группа мобильных терминалов, находящихся в зоне покрытия данной точки доступа) определяются по отклику (маячку). Если в течение определенного количества опросов мобильных терминалов в данном кластере ответа от определенного терминала нет, такой терминал вычеркивается из набора терминалов-соседей текущего сегмента сети. Как уже упоминалось выше, для определения расстояний между объектами внутри сегмента применяются методы времени прибытия.

### 3. Вычисление координат узла сети

Для вычисления координат узлов сети следует провести следующие процедуры:

- 1) обнаружить все беспроводные терминалы внутри кластера (сформировать множество  $K_{AP}$ );
- 2) сформировать множество  $D_{AP}$ .

После, обладая такими данными, непосредственно вычисляются координаты мобильных объектов внутри каждого сегмента сети – рис. 4.

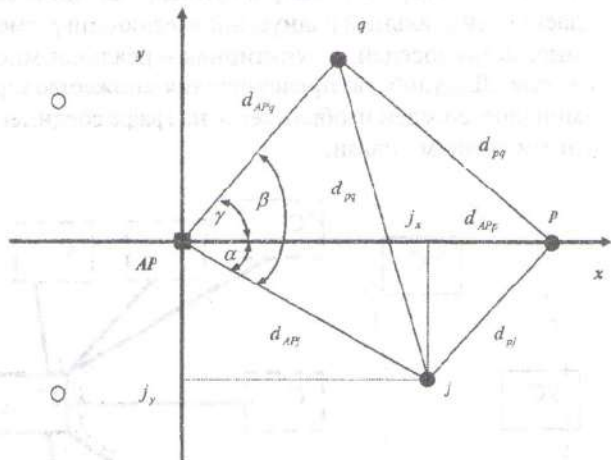


Рис. 4. Определение координат узла  $j$  в локальной системе координат кластера

Вторым шагом процесса определения координат мобильных терминалов является выбор двух узлов  $p, q \in K_{AP}$  таких, что:

- 1) расстояние между  $p, q$  и  $AP$  определено;
- 2) расстояния между  $p, q$  и  $AP$  не равны нулю ( $d_{pq} > 0; d_{APq} > 0; d_{APp} > 0; p \neq q$ );
- 3)  $AP, p$  и  $q$  не располагаются на одной линии;
- 4) локальную систему координат для каждого определенного кластера можно безболезненно вращать;
- 5) узел  $q$  должен иметь положительное значение по оси  $y$  ( $q_y > 0$ ).

После выполнения вышеуказанных ограничений можно определить локальную систему координат [2] для текущего сегмента сети, которая будет задана уникально функциями отношений между  $AP, p$  и  $q$ . Координаты центра системы координат, а также вершин  $p$  и  $q$  определены как:

$$AP_x = 0; AP_y = 0; \quad (1)$$

$$p_x = d_{APp}; p_y = 0; \quad (2)$$

$$q_x = d_{APq} \cos \gamma; q_y = d_{APq} \sin \gamma, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – угол  $\langle p, AP, q \rangle$  в треугольнике  $(p, AP, q)$  (рис. 4) вычисляется, используя правило косинуса:

$$\gamma = \arccos \left[ \frac{d_{APq}^2 + d_{APp}^2 - d_{pq}^2}{2d_{APp}d_{APq}} \right]. \quad (4)$$

Локальная система координат, представленная вершинами  $j \in K_{AP}; j \neq p, j \neq q$ , определяется, используя правила геометрии. Координата  $x$  узла  $j$  вычисляется как:

$$q_x = d_{APj} \cos \alpha_j; \quad (5)$$

координата  $y$  узла  $j$  может быть найдена, используя вспомогательный угол  $\beta$ :

$$j_y = \begin{cases} j_y = d_{APj} \sin \alpha_j, & \text{if } \beta_j = |\alpha_j - \gamma| \\ j_y = -d_{APj} \sin \alpha_j, & \text{else,} \end{cases} \quad (6)$$

где  $\alpha_j$  – угол  $\langle p, AP, j \rangle$  в треугольнике  $\Delta(p, AP, j)$ ,  $\beta_j$  – угол  $\langle j, AP, q \rangle$  в треугольнике  $\Delta(j, AP, q)$  и  $\gamma$  – угол  $\langle p, AP, q \rangle$  в треугольнике  $\Delta(p, AP, q)$ . Величины углов  $\alpha_j$  и  $\beta_j$  определяются, используя правило косинусов:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{d_{APj}^2 + d_{APp}^2 - d_{pj}^2}{2d_{APj}d_{APp}} \right], \quad (7)$$

$$\beta = \arccos \left[ \frac{d_{APq}^2 + d_{APj}^2 - d_{jq}^2}{2d_{APq}d_{APj}} \right]. \quad (8)$$

Координаты любого узла  $k \in K_{AP}, k \neq p, k \neq q$  могут быть вычислены, используя координаты центрального узла сегмента и двух других узлов, которые уже вычислены.

### 4. Определение локального множества

Локальное множество (Local View Set – LVS) представляет собой набор определенных узлов  $LVS_i(p, q) \in K_{AP}$  таких, что,  $j \in K_{AP}, j \neq p, j \neq q$ , где узел  $i$  может быть использован как второй «базовый» (одна из вершин треугольника). Подобные локальные множества применяются для вычисления координат узла  $j$  в локальной системе координат данного сегмента сети.

Для узла  $i$  можно подобрать максимум  $2 \left\lfloor \frac{|K_{AP}|}{2} \right\rfloor$  разных пар узлов  $p$  и  $q$ , где  $|K_{AP}|$  – количество элементов множества  $K_{AP}$ . Таким образом, можно определить множество  $C_i$ , в которое входят все возможные комбинации  $p$  и  $q$ , для узла  $i$ :

$$C_i = \{p, q \in K_{AP}, \text{ для } p \in K_{AP}\}, \quad (9)$$

$$0 \leq |C_i| \leq 2 \left\lfloor \frac{|K_{AP}|}{2} \right\rfloor. \quad (10)$$

Выбор разных  $p$  и  $q$  должен максимизировать количество узлов, для которых удобно вычислять координаты, используя данный LVS:

$$p, q = \arg \max_{(p_k, q_k) \in C_i} |LVS_i(p_k, q_k)|. \quad (11)$$

### 5. Построение глобальной системы координат

После построения во всех кластерах локальных систем координат необходимо построить общую глобальную систему координат, исходя из следующих соображений:

- Различные локальные системы координат могут иметь разные шкалы.
- Различные локальные системы координат, как правило, имеют разную направленность осей абсцисс и ординат.
- Необходимо преобразовывать «виртуальные» координаты в физические координаты, которые привязаны к реальному миру, реальным мерам расстояний и скоростей.

Для достижения единого направления осей координат локальных систем координат необходимо «доворачивать» их по отношению к глобальной системе координат.

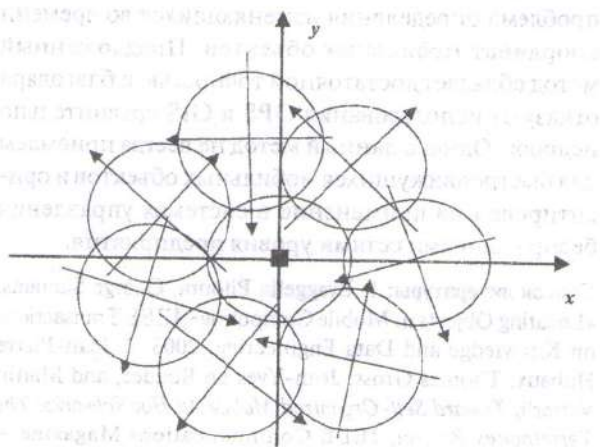


Рис. 5. Определение координат узла  $j$  в локальной системе координат кластера

### 6. Ориентация осей локальных систем координат по отношению к осям глобальной системы координат

Рассмотрим две точки доступа AP:  $i$  и  $k$ . Для ориентации направлений осей координат AP  $k$  относительно локальной системы координат AP  $i$  AP  $k$  необходимо «довернуть», или сделать зеркальное отражение «mirror» своей системы координат.

Для вычисления угла поворота должны выполняться два следующих условия:

$$i \in LVS_k \text{ и } k \in LVS_i;$$

$$\exists j \neq i, \exists j \neq k, \text{ такие что } j \in LVS_k \text{ и } j \in LVS_i.$$

Возможно возникновение трех ситуаций (рис. 6):

- направления осей координат  $i$  и  $k$  абсолютно одинаковы («невозможный» сценарий) (рис. 6 а);
- направления осей координат  $i$  и  $k$  таковы, что необходимо довернуть одну из этих систем координат на определенный угол (рис. 6 б);
- направления осей координат  $i$  и  $k$  таковы, что целесообразно не просто довернуть одну из этих систем координат на определенный угол, но и сделать зеркальное отражение (рис. 6 в).

В первом сценарии корректировка не нужна.

Угол коррекции для AP  $k$  во втором сценарии —  $\beta_i - \alpha_k + \pi$ .

В третьем сценарии угол коррекции для AP  $k$  равен  $\beta_i + \alpha_k$ , и необходимо выполнить зеркальное отражение для оси  $y$  (рис. 6).

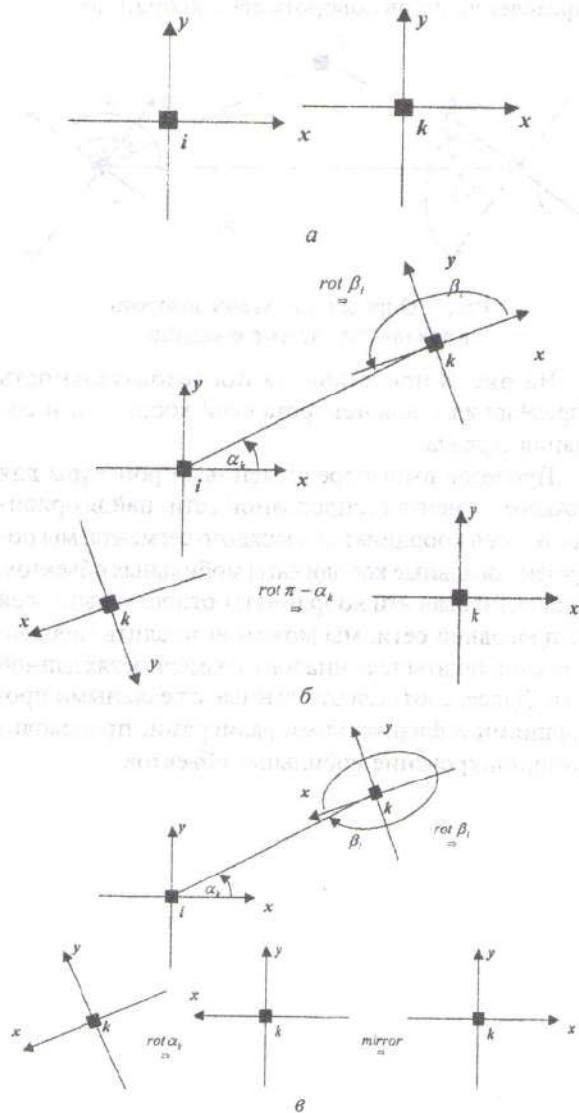


Рис. 6. Возможные сценарии коррекции направления осей локальной системы координат: здесь,  $\alpha_k$  — угол вектора  $ik$  в системе координат AP  $i$  и  $\beta_i$  — угол вектора  $ki$  в системе координат узла  $k$

Перед стартом процедуры корректировки для АР  $k$  предлагается использовать следующую схему для определения подходящего сценария:

если  $\alpha_j - \alpha_k < \pi$  и  $\beta_j - \beta_k < \pi$ , или  $\alpha_j - \alpha_k > \pi$  и  $\beta_j - \beta_k > \pi$ , то необходимо создать зеркало; угол поправки =  $\beta_i + \alpha_k$

если  $\alpha_j - \alpha_k < \pi$  и  $\beta_j - \beta_k > \pi$ , или  $\alpha_j - \alpha_k > \pi$  и  $\beta_j - \beta_k < \pi$ , то зеркало не создается; угол поправки =  $\beta_j - \alpha_k + \pi$

На рис. 7 представлена последовательность определения углов поворота осей координат.

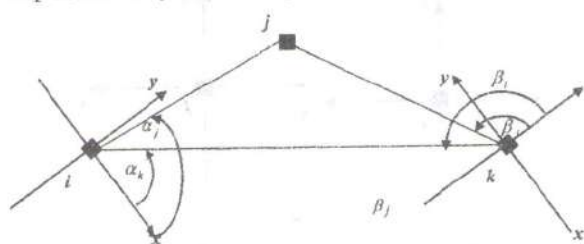


Рис. 7. Определение углов поворота в локальной системе координат

На рис. 8 представлена последовательность определения углов поворота осей координат и создания зеркала.

Пролетав вышеперечисленные процедуры для каждого сегмента беспроводной сети, найдя ориентацию осей координат для каждого сегмента, мы получаем локальные координаты мобильных объектов. Сориентировав эти координаты относительно всей беспроводной сети, мы можем вычислить глобальные координаты терминалов в размерностях данной сети. Далее, соотнеся эти данные с реальными пропорциями и физическими размерами, происходит позиционирование мобильных объектов.

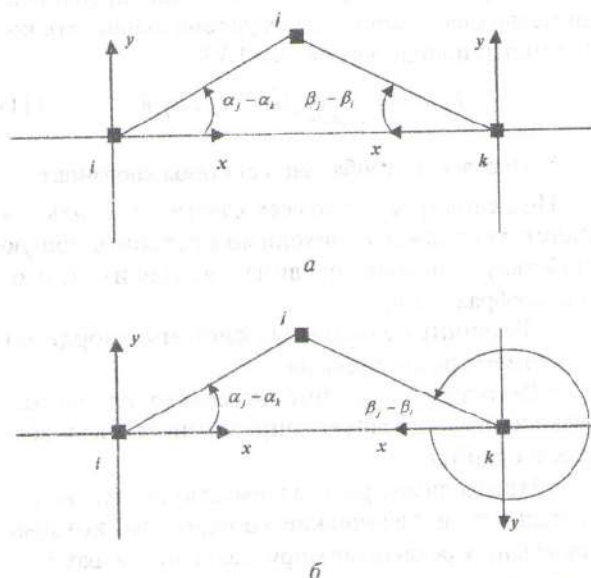


Рис. 8. Поворот и создание зеркала для локальной системы координат сегмента беспроводной сети

### Выводы

В предложенной статье рассмотрена актуальная проблема определения изменяющихся во времени координат мобильных объектов. Предложенный метод обладает достаточной точностью и благодаря отказу от использования GPS и GIS сравнительно недорог. Однако данный метод не всегда приемлем для быстро движущихся мобильных объектов и ориентирован на применение в системах управления беспроводными сетями уровня предприятия.

**Список литературы:** 1. Evaggelia Pitoura, George Samaras, «Locating Objects in Mobile Computing», IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2003. 2. Jean-Pierre Hubaux, Thomas Gross, Jean-Yves Le Boudec, and Martin Vetterli, *Toward Self-Organized Mobile Ad Hoc Networks: The Terminodes Project*, IEEE Communications Magazine • January 2001.

Поступила в редакцию 20.04.07