

## ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ПЕРЕСМОТРУ ОТЧЕТА МСЭ-R SM.2211

### **Сравнение методов определения географического местоположения источника сигнала, основанных на разнице во времени прихода и угле прихода сигнала**

#### **Вводные замечания**

В Отчете МСЭ-R SM.2211 приведено довольно детальное сравнение TDOA и AOA систем мониторинга по критериям сложности оборудования, возможности определения источников излучений с различными видами модуляции, защиты от отражений, шумов и помех, требованиям к системам обмена и обработки данных и т.д. Вместе с тем, в Отчете недостаточное внимание уделено сравнению этих систем по критерию покрытия территории местоопределением<sup>1</sup> в сетях, состоящих из разного числа фиксированных станций мониторинга в их взаимодействии с мобильными станциями.

Представляется, что именно этот пробел Отчета не позволил сформулировать в нем выводы об эффективности различных конфигураций локальных TDOA и AOA сетей мониторинга, состоящих из различного числа фиксированных станций в их взаимодействии с мобильными, а именно этот критерий, наряду со стоимостью, может иметь решающее значение в выборе администрации в пользу той или иной системы.

#### **Предложение**

Предложение, представлено ниже в Приложении<sup>2</sup>, ставит своей целью восполнить указанный пробел.

---

<sup>1</sup> Geolocation coverage

<sup>2</sup> Attachment

ПРИЛОЖЕНИЕ<sup>3</sup>

## ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2211-1

## Сравнение методов определения географического местоположения источника сигнала, основанных на разнице во времени прихода и угле прихода сигнала

(2011-201.....)

## Содержание

Стр.

1	Введение.....	Ошибка! Заклад
2	Обзор технологии TDOA.....	2
3	Сильные и слабые стороны метода TDOA по сравнению с традиционным методом AOA ..	2
4	Резюме.....	4
5	<a href="#">Справочные документы</a> <a href="#">Ссылки</a> .....	5
	<a href="#">Приложение 1 Сравнение систем TDOA и AOA по зонам покрытия местоопределением</a> .....	
	<a href="#">A1 Обсуждение</a> .....	
	<a href="#">A2 Выводы</a> .....	

**1 Введение**

Без изменений

**2 Обзор технологии TDOA**

Без изменений

**3 Сильные и слабые стороны метода TDOA по сравнению с традиционным методом AOA**

Без изменений

## ТАБЛИЦА 3-1

## Сильные стороны метода TDOA

Без изменений

<sup>3</sup> ATTACHMENT

ТАБЛИЦА 3-2

## Слабые стороны метода TDOA

<b>Узкополосные сигналы</b>	<p>С использованием методов TDOA может оказаться трудным или невозможным определить источник медленно изменяющихся сигналов, которые включают немодулированные несущие (CW) и узкополосные сигналы.</p> <p>Степень эффективности TDOA сильно зависит от ширины полосы сигнала и ухудшается по мере ее уменьшения. Кроме того, для узкополосных сигналов многолучевость теоретически представляет собой большую проблему, в случае если временные характеристики сигнала широко связаны с разбросом задержки. В этих условиях труднее выделить искажение формы импульса, возникающее из-за многолучевости, что приводит к дополнительной ошибке в оценке разницы во времени. Минимальная ширина полосы сигнала, необходимая для обеспечения приемлемой эффективности, различается в зависимости от применения. Например, согласно имеющимся сведениям, с помощью TDOA определялось местоположение узкополосных (30 кГц) сигналов сотовых телефонов AMPS в условиях густонаселенных городских районов со среднеквадратической ошибкой около сотни метров [5]. Более высокое ОСШ и большее время наблюдения может улучшить определение местоположения источников некоторых узкополосных сигналов методом TDOA.</p> <p>Системы AOA эффективно работают с узкополосными и немодулированными сигналами, а также широкополосными сигналами.</p>
<b>Нет возможности наведения и центрирования при помощи одной станции</b>	<p>Для методов наведения и центрирования требуется как минимум две станции TDOA, из которых хотя бы одна является мобильной, а также канал передачи данных<sup>(1)</sup>.</p> <p>В методах AOA определение географического местоположения наведением и центрированием возможно при использовании лишь одной переносной станции. Это обеспечивает возможность определения местоположения в условиях, когда использование сетевых приемников TDOA нецелесообразно или экономически неэффективно. Эти методы описаны в главе 4.7.3.3.</p>
<b>Более высокоскоростные каналы передачи данных</b>	<p>Системам TDOA, передающим дискретизированные сигналы от приемников центральному серверу, требуются высокоскоростные каналы передачи данных. Сетевые потребности приемника являются несимметричными: ширина полосы для загрузки данных превышает ширину полосы для загрузки данных. Поток передаваемых данных можно сократить за счет усовершенствованной обработки, включающей сжатие сигнала. Системы TDOA, в которых время прихода сигнала (TOA) устанавливается в приемнике, предъявляют более скромные требования к скорости передачи данных. Более подробно требования к каналу передачи данных рассматриваются в главе 4.7.3.2.4 "Соображения в отношении сети".</p> <p>Системам AOA требуются более низкие скорости передачи данных, поскольку на центральную станцию передаются только некоторые характеристики сигнала, такие как пеленг, частота и время.</p>
<b>Чувствительность к источникам декорреляции сигнала</b>	<p>В системе TDOA должно самым тщательным образом ослабляться влияние всех потенциальных источников декорреляции сигнала между приемниками. Сюда входят относительные сдвиги опорных частот приемников и относительные сдвиги частот сигнала (доплеровский сдвиг), вызванные движением источников или местной средой. Максимальное время когерентного интегрирования будет ограничиваться не только длительностью сигнала, но и стабильностью опорного генератора приемника, а также динамическими характеристиками беспроводной связи.</p> <p>Высококачественные системы TDOA включают контуры слежения для обеспечения частотной и временной когерентности. Большое значение для компенсации эффектов декорреляции источников, испытывающих доплеровский сдвиг, имеет автоматическая коррекция доплеровского сдвига.</p> <p>Базовые системы AOA и некоторые усовершенствованные системы AOA (использующие метод MUSIC) нечувствительны к декорреляции сигнала между местами проведения измерений. Усовершенствованные системы AOA, в которых имеется корреляция с опорными сигналами, чувствительны к декорреляции сигнала.</p>
<b>Более точная временная синхронизация</b>	<p>Метод TDOA требует высококачественной временной синхронизации по отношению к величине, обратно пропорциональной ширине полосы рассматриваемого сигнала. Современные технологии (например, GPS) позволяют обеспечить временную синхронизацию приемника TDOA с точностью, превышающей 20 нс.</p> <p>Системы AOA менее требовательны к временной синхронизации приемников, точность которой может составлять несколько секунд. На практике некоторые представляющие интерес сигналы, например сигналы малой длительности или сигналы со скачкообразной перестройкой частоты требуют более высоких уровней синхронизации станций AOA.</p>
<b>Сигналы, содержащие повторяющиеся элементы</b>	<p>Несмотря на малую вероятность, при некоторых условиях алгоритмы TDOA могут приводить к неверным решениям в отношении сигналов, содержащих повторяющиеся элементы. К примерам таких сигналов относятся повторяющиеся последовательности данных или синхронимпульсы. Эта проблема, а также пути ее уменьшения подробно рассматриваются в главе 4.7.3.2.3 "Факторы, влияющие на точность".</p> <p>В связи с тем, что в системах AOA не осуществляется перекрестная корреляция сигнала, они не подвержены этой проблеме.</p>

<b>Скорость вычисления при определении географического местоположения</b>	<p>Дискретизированные сигналы, как правило, передаются на сервер определения местоположения для проведения вычислений. В связи с этим к пропускной способности сети и скорости передачи предъявляются высокие требования. Низкоскоростной канал может существенно замедлить время вычисления при определении географического местоположения.</p> <p>Типовые скорости определения географического местоположения могут составлять порядка 1 фиксации в секунду методом TDOA по сравнению со 100 фиксациями в секунду методом AOA. Использование более высокоскоростных каналов передачи данных может улучшить скорость определения географического местоположения методом TDOA. Использование более короткого времени наблюдения и/или усовершенствованных методов сжатия также может снизить требуемую ширину полосы для передачи данных. После того как результаты измерений переданы на центральный сервер, пересчет географических местоположений методом TDOA осуществляется существенно быстрее, поскольку он выполняется на основе сохраненных локальных данных.</p>
<b>Малая пригодность для одновременного определения географического местоположения многих источников излучения</b>	<p>Некоторые системы AOA поддерживают одновременное определение географического местоположения источников многих сигналов, разнесенных по частоте. Такая функция часто называется широкополосной радиопеленгацией. Теоретически она возможна в методе TDOA, но практически не доступна, главным образом, в связи с гораздо более высокими требованиями к скорости передачи данных.</p> <p>Скорость передачи данных в TDOA может быть снижена в случае обеспечения вспомогательных данных путем синхронизации сигнала (установления TOA) в каждом приемнике.</p>
<b>Нет возможности определения местоположения из одной точки (SSL)</b>	<p>Для построения линии положения требуется минимум два датчика, для определения географического местоположения в двумерном пространстве необходимо как минимум три датчика, а для определения географического местоположения в трехмерном пространстве необходимо как минимум четыре датчика.</p> <p>Метод AOA может использоваться при определении местоположения из одной точки.</p>
<b>Соображения относительно конфигурации</b>	<p>Оба метода, TDOA и AOA, обеспечивают наибольшую точность (наилучший показатель GDOP), если источник сигнала расположен в <u>центре-пределах</u> периметра, <del>образованного местами проведения измерений, очерчивающего группу взаимодействующих сенсоров и/или пеленгаторов</del><sup>4</sup>.</p> <p>Непосредственно за пределами <del>области, ограниченной местами проведения измерений этого периметра</del>, точность <u>и эффективность</u> определения местоположения методом TDOA убывает быстрее, чем точность <u>и эффективность</u> метода AOA [8], см. Приложение 1<sup>5</sup>.</p> <p>Если источник находится далеко за пределами <u>этого</u> периметра, метод TDOA аппроксимирует линию положения, аналогичную линии пеленга при AOA, <u>но только в пределах территорий, где перекрываются зоны обслуживания двух сенсоров</u> [8], см. Приложение 1. Метод AOA обеспечивает местоопределение (т.е. указывает пересечение линий пеленгов) в пределах территорий, где перекрываются зоны обслуживания двух пеленгаторов. В этой ситуации <u>в пределах периферии территории, где перекрываются зоны обслуживания по меньшей мере трех сенсоров и/или пеленгаторов</u>, неопределенность местоположения и пеленга увеличивается с расстоянием <u>примерно</u> одинаково в обоих методах.</p> <p><u>Соображения</u><sup>6</sup> <u>об эффективности сетей TDOA и AOA, состоящих из разного числа сенсоров/пеленгаторов, см. в Приложении 1.</u></p>
<b>Автономный анализ с помощью измерений от одной станции</b>	<p>В методе AOA анализ линии пеленга может осуществляться автономно с использованием результатов измерений, полученных лишь из одной точки. Автономный анализ линии положения в TDOA невозможен при наличии измерений только из одной точки (см. также Приложение 1).</p>

(1) Для наведения и центрирования при помощи лишь одной переносной станции могут использоваться методы RSS.

## 4 Резюме

Технология TDOA является дополнительной технологией определения географического местоположения, которая не получила широкого применения при осуществлении контроля за использованием спектра. Использование TDOA становится все более целесообразным в связи с появлением недорогих компактных вычислительных ресурсов, усовершенствованных технологий радиоприема, повсеместной доступностью каналов передачи данных, а также наличием точных распределяемых сигналов временной синхронизации. Он обладает определенными сильными сторонами по сравнению с методом AOA, в частности при обнаружении и определении географического местоположения источников современных широкополосных сигналов.

<sup>4</sup> DF stations

<sup>5</sup> Annex 1

<sup>6</sup> Suggestions

Характеризуется более простыми требованиями к антенне, способностью обрабатывать сигнал, распространяющийся на короткое расстояние в условиях многолучевости в городской среде, а также доступностью развертывания сетей недорогих датчиков. Этот метод обладает также слабыми сторонами по сравнению с методом АОА, в особенности при определении местоположения источников узкополосных и немодулированных сигналов. Как правило, он предъявляет более высокие требования к соединительным линиям для передачи данных. При его использовании необходимо как минимум два приемника для получения информации о линии положения и не менее трех приемников для определения местоположения в двумерном пространстве. Для современных методов контроля за сигналами характерна работа со все более широкополосными сигналами и все более низкими уровнями спектральной плотности мощности. Использование дополнительных методов определения географического местоположения, таких как TDOA, способно улучшить вероятность обнаружения и определения географического местоположения источников современных сигналов во многих средах. Гибридные системы АОА/TDOA способны компенсировать некоторые слабые стороны каждого метода по отдельности, особенно в том случае, если параметры пеленгаторов и сенсоров будут примерно одинаковыми, как по возможности работы с разными видами сигналов, так и по размерам зон покрытия. Мобильные TDOA станции являются эффективными только при гибридном исполнении с АОА.

Обе технологии, как АОА, так и TDOA, имеют свои сферы эффективного применения для целей местоопределения в сетях наземного радиоконтроля, состоящих из разного числа сенсоров/пеленгаторов, поэтому они обе требуют дальнейшего совершенствования и развития.

## 5 Справочные документы Ссылки

- [1] BROUMANDAN, ALI *et al.* [2008] *Practical Results of Hybrid AOA/TDOA Geolocation Estimation in CDMA Wireless Networks*. Calgary: s.n., 2008. IEEE 68th Vehicular Technology Conference. 978-1-4244-1722-3.
- [2] KRIZMAN, KEVIN J., BIEDKA, THOMAS E. and RAPPAPORT, THEODORE S. [1997] *Wireless Position Location: Fundamentals, Implementation Strategies, and Sources of Error*. s.l.: IEEE, 1997. Vehicular Technology Conference. Vol. 2, p. 919-923.
- [3] SCHWOLEN-BACKES, ANDREAS. [2010] *A comparison of radiolocation using DOA respective TDOA*. Hamburg: Plath GmbH.
- [4] PATWARI, NEAL *et al.* [July 2005] Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*. p. 54-69.
- [5] STILP, LOUIS A. [1997] TDOA technology for locating narrowband cellular signals: Cellphone location involves several practical and technical considerations. Time difference-of-arrival (TDOA) technology provides accuracy for locating analog cellphones in urban environments. *Urgent Communications*. [Online] 4 1.  
[http://mrtmag.com/mag/radio\\_tdoa\\_technology\\_locating/index.html](http://mrtmag.com/mag/radio_tdoa_technology_locating/index.html).
- [6] TORRIERI, DON J. [1984] *Statistical Theory of Passive Location Systems*. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. Vols. AES-20, 2.
- [7] AGILENT TECHNOLOGIES [2009] *Techniques and Trends in Signal Monitoring, Frequency Management, and Geolocation of Wireless Emitters*. Application Note. 5990-3861EN.
- [8] [KOZMIN, VLADIMIR A.; PAVLYUK ALEXANDER P. and TOKAREV ANTON B. \[2014\] Comparison of spectrum monitoring coverage features of AOA and TDOA geolocation methods. \(in the process of publication in Russian in \*Electrosviaz Journal\*. See translation into English at the website: <http://www.ircos.ru/en/articles.html>\)](#)

## Приложение 1

### Сравнение систем TDOA и AOA по зонам покрытия местоопределением<sup>7</sup>

#### A1 Обсуждение

Анализ особенностей покрытия местоопределением для различных групп фиксированных пеленгаторов системы AOA и сенсоров системы TDOA (ниже будем также использовать термин «фиксированная станция», если это касается обоих сенсора и пеленгатора) можно провести на основе рассмотрения AOA и TDOA сетей радиоконтроля, содержащих по три взаимодействующих станции, поскольку они обеспечивают зоны, в которых перекрываются области покрытия тремя и двумя станциями, а также зоны, покрываемые лишь одной станцией. Случай четырех и более взаимодействующих станций (т.е. с многократно перекрывающимися зонами покрытия) в смысле условий местоопределения не имеет принципиальных отличий от случая трех станций в зонах, перекрываемых этими тремя станциями.

Рассмотрим покрытие местоопределением для трех фиксированных сенсоров, обозначенных на рис. 1 как S1–S3, и трех фиксированных пеленгаторов, обозначенных на рис. 2 как DF1–DF3, которые имеют одну и ту же конфигурацию, но работают в сетях TDOA и AOA соответственно. Пусть сети также оснащены мобильными станциями мониторинга, обозначенными на рисунках 1 и 2 как MS, с оборудованием той же самой технологии, что и фиксированные сенсоры и пеленгаторы (ниже будем использовать термин «фиксированная станция», если это касается обоих сенсора и пеленгатора). Индивидуальные зоны покрытия каждой фиксированной станцией условно обозначены на рис. 1 и 2 контурами различных цветов. Желтым цветом указаны перекрывающиеся зоны покрытия фиксированных станций, в пределах которых обеспечивается определение координат источника излучения (ниже, для краткости, - передатчика) только силами фиксированных станций без необходимости привлечения мобильных станций. Поскольку считается, что сенсоры системы TDOA являются более чувствительными, чем пеленгаторы системы AOA, соответствующие зоны покрытия индивидуальными сенсорами S1–S3 на рис. 1 представлены превышающими таковые для пеленгаторов DF1 – DF3 на рис. 2.

Необходимо отметить, что зоны покрытия на обоих рисунках построены чисто условно по отношению к некому испытательному передатчику, имеющему определенную мощность и высоту антенны. При изменении этих параметров границы зон покрытия неизбежно изменятся в той или иной степени.

Для сети TDOA дистанционное определение координат передатчика только с помощью фиксированных сенсоров может быть выполнено исключительно в пределах зоны, обслуживаемой всеми тремя сенсорами, т.е. там, где перекрываются их индивидуальные зоны покрытия. В пределах этой зоны координаты передатчика определяются по области пересечения трех линий положения<sup>8</sup>, как это указано на рис. 1 применительно к передатчику T1, где пересекаются линии положения 1-2, 3-1 и 3-2. Для сети AOA местоопределение с помощью только фиксированных пеленгаторов примерно с такой же высокой эффективностью осуществляется по пересечению линий пеленгов<sup>9</sup> в пределах зоны, обслуживаемой всеми тремя пеленгаторами, как это указано на рис. 2 по отношению к передатчику T1 (линии пеленгов 1 – 3), так и в зонах, обслуживаемых только двумя пеленгаторами, как это указано там же по отношению к передатчику T2 (линии пеленгов 4 и 5). В зависимости от конфигурации фиксированных станций в сети, зоны перекрытия двумя станциями могут быть существенно больше зоны, перекрываемой тремя станциями.

---

<sup>7</sup> Geolocation coverage

<sup>8</sup> Line of position

<sup>9</sup> bearing lines

РИСУНОК 1

Покрытие местоопределением в сети TDOA

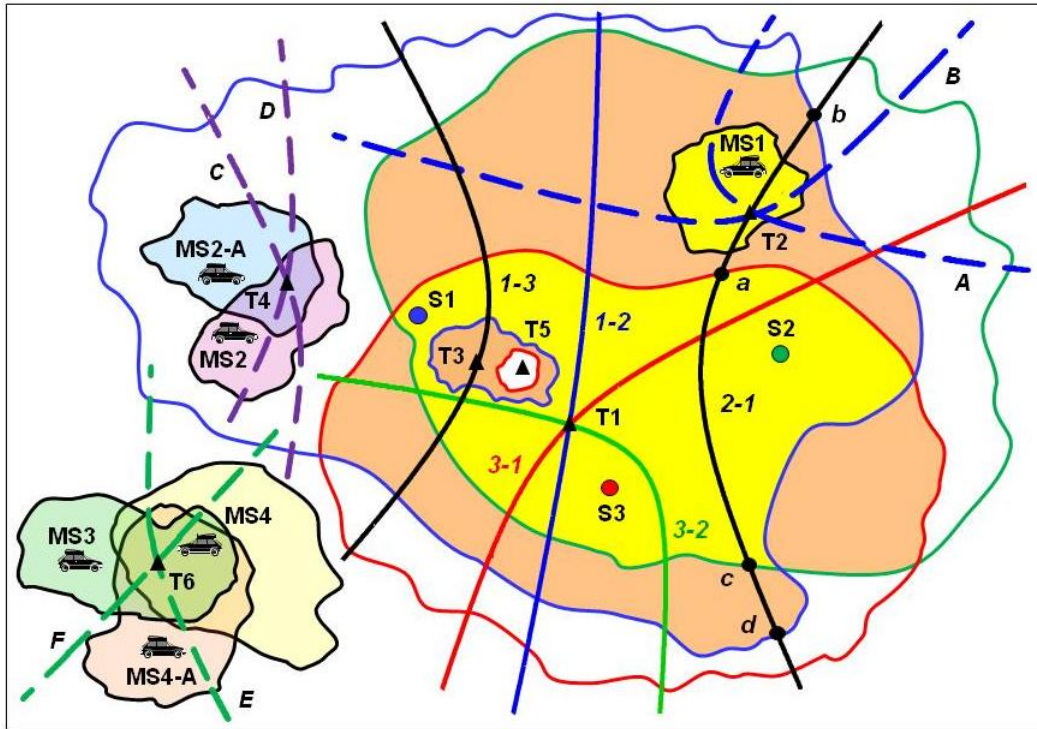
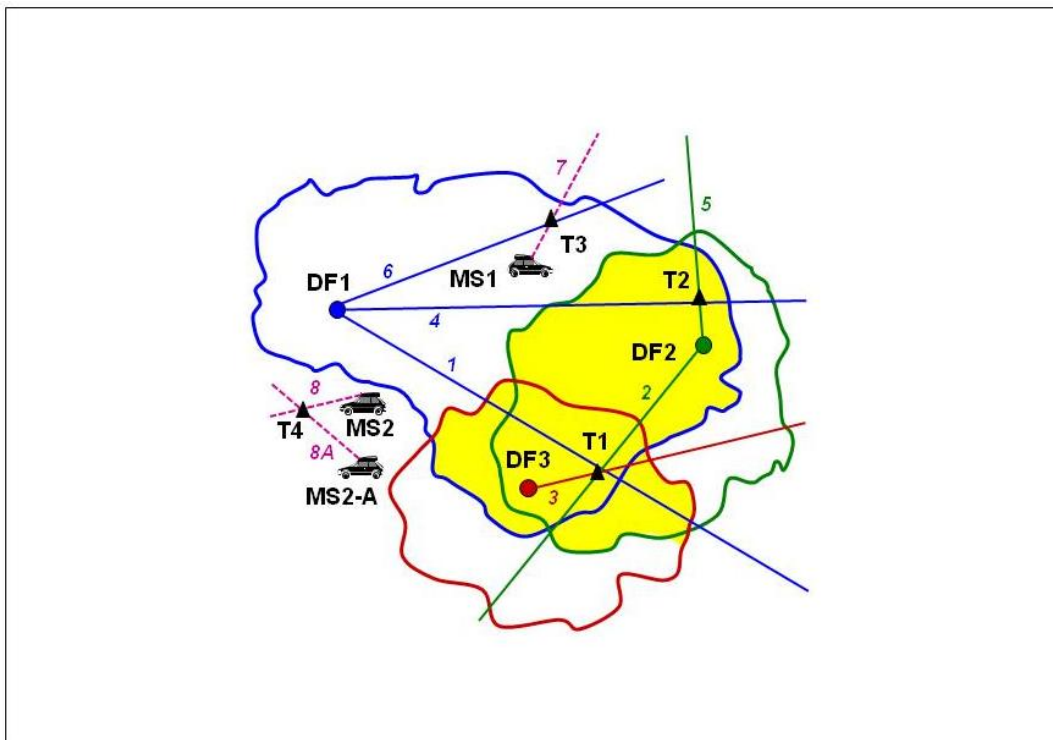


РИСУНОК 2

Покрытие местоопределением в сети AOA





Если в сети TDOA искомый передатчик лежит в одной из зон, перекрываемых только двумя сенсорами (коричневые на рис. 1), оборудование может воспроизводить только одну линию положения, как это показано линией 2-1 по отношению к передатчику T2. Поэтому определение координат передатчика в данном случае может быть осуществлено только с помощью мобильной станции (MS1 на рис.1), которая взаимодействует с двумя сенсорами, по области пересечения линии положения 2-1 с двумя другими, обеспечиваемыми этой мобильной станцией (линии положения A и B на рис. 1, представленные пунктирами, чтобы подчеркнуть их изменчивость в процессе перемещения станции). При этом искомый передатчик должен попасть в зону покрытия мобильной станции, которая обычно невелика ввиду малой высоты ее антенны. Таким образом, на мобильную станцию в зоне, перекрываемой только двумя сенсорами, в общем случае возлагается не только функция допоиска<sup>10</sup> передатчика, но и функция дистанционного определения координат, что увеличивает трудоемкость и, следовательно, снижает эффективность работы МСРК.

В частности, если зоны покрытия мобильной станции недостаточно, чтобы принимать сигнал передатчика (T2 в рассматриваемом случае), оператор, имея только воспроизведенную линию положения 2-1, может сделать заключение, что искомый передатчик наиболее вероятно находится где-то на краях этой линии, т.е. в пределах ее участков *a-b* или *c-d*, но не в ее центральной части, которая с большой вероятностью перекрывается всеми тремя сенсорами, если рельеф местности не содержит там существенных неровностей. При этом оператор должен принять во внимание, что граничные точки таких участков (*a-b* или *c-d*) неизвестны, поскольку границы зон покрытия индивидуальных фиксированных сенсоров, включая перекрывающиеся, зависят от мощности и высоты антенны искомого передатчика, которые обычно не известны вплоть до момента его обнаружения на месте. Поэтому участки *a-b* и *c-d* смещаются по положению в сторону ее центра для маломощных передатчиков с низкими антеннами, и в направлении периферийных частей линии положения в противном случае; расстояние между точками *a-b* и *c-d* при этом также меняется.

Необходимо отметить, что район расположения искомого передатчика обычно ассоциируется с расположением приемника, подверженного помехе или (особенно в случае нелегальных передатчиков) он предположительно известен на основе других данных. При плотном расположении фиксированных сенсоров системы TDOA (например, в больших городах) помеха приемнику, расположенному в нижней части рис. 1, вполне может быть вызвана и передатчиком, расположенным в верхней части рис. 1, например передатчиком T2. Поэтому в ряде случаев мобильная станция должна переместиться вдоль всей (или значимой части) линии положения чтобы обнаружить искомый передатчик на месте. Это может быть достаточно трудоемким, что снижает эффективность допоиска передатчика оборудованием TDOA в зонах, перекрываемых только двумя фиксированными сенсорами.

Рассмотренные выше закономерности проявляются и в том случае, если, ввиду особенностей рельефа местности или городской застройки, зона, перекрываемая только двумя фиксированными сенсорами, лежит в пределах общей зоны, перекрываемой всеми тремя сенсорами. Как показано на рис. 1 по отношению к передатчику T3, в данном случае также воспроизводится только линия положения 1-3 и для определения координат передатчика на этой линии необходимо использование мобильной станции, сопряженное с указанными выше трудностями.

Напротив, как было упомянуто выше, система AOA обеспечивает определение координат передатчика в зонах, перекрываемых только двумя пеленгаторами, почти с той же высокой эффективностью, как и в зоне, перекрываемой тремя или бóльшим числом пеленгаторов. Как видно из сравнения линий положения 2-1 и 1-3 на рис. 1 и линии пеленга 4 от одиночного пеленгатора DF1 на рис. 2, зона поиска мобильной станции системы TDOA в общем случае в два раза больше, чем для мобильной станции системы AOA. Это опять-таки указывает на меньшую эффективность работы мобильной станции системы TDOA по сравнению с таковой системы AOA.

В зоне покрытия только одним сенсором системы TDOA определение координат и допоиск передатчика еще больше усложняются и еще бóльшая нагрузка ложится на мобильную станцию. Мобильная станция, не имея никакого ориентира, кроме как положение приемника, подверженного помехе, или предполагаемый район размещения нелегального передатчика, должна приблизиться к

---

<sup>10</sup> DF homing



искомому передатчику настолько, чтобы он попал в её зону покрытия, как это показано на рис. 1 на примере мобильной станции MS2 по отношению к передатчику T4. Однако даже в этом случае будет воспроизведена только одна линия положения C. Для определения координат искомого передатчика на этой линии, мобильная станция, соблюдая те же условия, должна переместиться в другую точку, например в точку MS2-A на рис. 1, чтобы обеспечить вторую линию положения D, пересекающую первую. Очевидно, что эти операции могут быть еще более трудоемкими, чем в рассмотренном выше случае наличия линии положения в зоне, перекрываемой двумя сенсорами, и, следовательно, еще менее эффективными, особенно в случае слабо развитой дорожной сети.

Тот же самый эффект имеет место и в том случае, если, ввиду особенностей рельефа местности или городской застройки, зона, обслуживаемая только одним сенсором, лежит в пределах общей зоны, перекрываемой всеми тремя сенсорами. Как показано на рис. 1 по отношению к передатчику T5, лежащему в зоне, обслуживаемой только сенсором S3, что условно показано красным контуром, сеть сенсоров совсем «не видит» такого передатчика и его местоположение может быть осуществлено только с помощью мобильной станции аналогично описанному выше местоположению передатчика T4.

В системе АОА местоположение передатчика с помощью мобильной станции по пеленгу, обеспечиваемому одним пеленгатором, является весьма обычной операцией, осуществляемой достаточно эффективно, по меньшей мере, в условиях отсутствия отражений. В соответствии с рис. 2, для того чтобы обнаружить искомый передатчик T3, мобильная станция MS1 должна просто следовать вдоль линии пеленга б, пока она не станет принимать сигнал этого передатчика. После этого осуществляется допоиск искомого передатчика по пеленгу<sup>11</sup> самой мобильной станции. Если оператор захочет заранее определить вероятное положение искомого передатчика (например, с целью выбора наиболее оптимального подъездного пути), он может сделать пеленг из некой другой точки, как это условно показано линией пеленга 7 на рис. 2. Пересечение линий пеленгов б и 7 указывает координаты искомого передатчика (T3 в рассматриваемом случае), что облегчает его последующий допоиск. В реальных условиях наличия отражений для надежного местоположения искомого передатчика может потребоваться несколько пеленгов от мобильной станции из нескольких различных точек.

Сколько-нибудь эффективное местоположение мешающего или нелегального передатчика вне зон покрытия сенсоров системы TDOA представляется вообще малореальным. Если все же попытаться это сделать, для такой операции необходимо иметь минимум две взаимодействующие мобильные станции, как это указано станциями MS3 и MS4 на рис. 1. В качестве первого этапа, исходя из положения приемника, подверженного помехе, или предполагаемого района нахождения нелегального передатчика, две мобильные станции системы TDOA должны обеспечить попадание искомого передатчика в их перекрывающиеся зоны покрытия, чтобы была возможность обеспечить соответствующую линию положения, а это представляется весьма проблематичным. Тем не менее, прием сигнала от искомого передатчика хотя бы одной мобильной станцией покажет операторам, что искомый передатчик находится где-то относительно недалеко и одна из этих мобильных станций может продолжить поиск в данном районе до тех пор, пока линия положения не будет обеспечена (например, линия положения E между мобильными станциями MS3 и MS4 на рис. 1). В качестве второго этапа, одна из мобильных станций, соблюдая те же условия, должна переместиться в другую точку, как например станция MS4 в точку MS4-A на рис. 1, с тем, чтобы обеспечить вторую линию положения F и осуществить местоположение передатчика (T6 на рис. 1) по пересечению этих линий положения. Только после этого можно приступить к допоиску.

Для обнаружения передатчика в пределах территории, не охваченной сетью пеленгаторов системы АОА, необходима лишь одна мобильная станция. Например, мобильная станция MS2 на рис. 2 в условиях отсутствия отражений сразу же обеспечивает пеленг на искомый передатчик (линия пеленга 8 на рис. 2), как только этот передатчик попадает в зону ее покрытия. Если оператор захочет заранее определить вероятное положение искомого передатчика (например, с целью выбора наиболее оптимального подъездного пути), он может сделать пеленг и из некой другой точки, как это условно показано линией пеленга 8А из точки MS2-A на рис. 2. Пересечение линий пеленгов 8 и 8А

---

<sup>11</sup> bearing

указывает положение искомого передатчика T4, что облегчает его последующий допоиск. В реальных условиях наличия отражений для местоопределения искомого передатчика может потребоваться несколько пеленгов от мобильной станции из нескольких различных точек. Такая процедура весьма широко используется многими администрациями, особенно в странах, обладающих большой территорией, значительная часть которой не может быть охвачена мониторингом с помощью фиксированных станций по вполне понятным экономическим причинам. В системе TDOA такая функция практически не может быть обеспечена.

## A2 Выводы

В сетях TDOA имеет место резкое снижение эффективности местоопределения на периферии ансамбля сенсоров, т.е. там, где перекрываются зоны покрытия только двух сенсоров, и, тем более, имеется лишь зона покрытия одним сенсором. Поскольку отношение площади, охватываемой ансамблем сенсоров, к площади периферийной зоны увеличивается с увеличением числа сенсоров в ансамбле, эффективность сети TDOA повышается с таким увеличением числа взаимодействующих сенсоров. Это означает, что сети TDOA являются более эффективными при обслуживании больших городов и промышленных центров, где может быть установлено большое число сенсоров на малых расстояниях друг от друга с тем, чтобы имело место многократное перекрытие их индивидуальных зон покрытия (минимум тремя сенсорами) для обеспечения реальной автоматизации процесса мониторинга, включая функцию местоопределения передатчиков.

Напротив, обслуживание относительно малых городов с их ближайшими пригородами, а также изолированных промышленных центров, более эффективно осуществлять небольшим числом пеленгаторов системы AOA, отстоящих друг от друга на относительно большие расстояния. В частности, весьма эффективным оказывается использование уже всего двух пеленгаторов системы AOA, которые обеспечивают местоопределение передатчиков в перекрывающихся зонах и пеленгование в пределах индивидуальных зон покрытия.

Даже единственный пеленгатор системы AOA достаточно эффективен, поскольку в пределах своей территории покрытия он обеспечивает (наряду с измерением параметров излучений) пеленги на искомые передатчики, что существенно облегчает их последующий допоиск силами мобильных станций. В системе TDOA эффективность одиночных сенсоров весьма мала.

Мобильные станции системы TDOA могут успешно функционировать только в пределах указанного выше ансамбля сенсоров этой системы. На периферии сети системы TDOA эффективность мобильных станций этой системы резко падает, тогда как в сети AOA она сохраняется достаточно высокой. Поэтому в общем случае мобильные станции, оснащенные только оборудованием системы TDOA, не могут быть признаны достаточно эффективными. Интерес представляют лишь гибридные TDOA/AOA системы.

Ориентация на использование мобильных станций гибридных TDOA/AOA систем приводит к другому весьма важному выводу: для мониторинга новых радиосистем с перспективными широкополосными видами модуляции нельзя ориентироваться исключительно на таковую с помощью TDOA технологии. Необходимо соответствующее совершенствование и AOA систем мониторинга, чтобы можно было скомпенсировать ими недостатки использования TDOA технологии для мобильного радиоконтроля; иначе такая важная составляющая радиоконтроля, как мобильный, может быть не обеспечена. Чтобы быть эффективными в гибридной TDOA/AOA сети фиксированных станций, AOA пеленгаторы должны обеспечивать зоны покрытия, по меньшей мере аналогичные зонам покрытия TDOA сенсоров.

Сеть сенсоров системы TDOA, даже в случае наличия мобильных станций, более критична к наличию зон, обслуживаемых только двумя станциями и, тем более, только одной станцией, в пределах общей зоны покрытия тремя и более станциями, чем сеть системы AOA. При увеличении относительной площади таких хуже обслуживаемых зон, эффективность сети TDOA и возможность автоматизации местоопределения в ней резко сокращаются, а задача такой автоматизации признается как главный побудительный мотив перехода на TDOA. Это требует более тщательного планирования сети сенсоров системы TDOA, по сравнению с сетью пеленгаторов AOA, с целью минимизации таких хуже обслуживаемых зон.