 **TEXAS**  
**INSTRUMENTS** 德州仪器 Chipcon 产品  
CC2431 定位引擎  
应用指南 AN042 (Rev. 1.0)

作者: K. Aamodt

译者: Webdisk008

文档编号: SWRA095

# 目 录

1 关键词:	1
2 介绍	1
3 定位引擎	1
3.1 节点类型	2
3.1.1 参考节点	2
3.1.2 定位节点 (盲节点)	2
3.2 用于定位的硬件	3
3.2.1 输入	3
3.2.2 输出	3
4 接收信号强度指示 (RSSI)	4
4.1 RSSI 值的补偿校准	4
4.2 线性特性	4
4.3 信号传播理论	5
4.4 接收信号强度指示——实际考虑	6
4.4.1 过滤 RSSI 值的简单方法	6
4.4.2 计算的 RSSI 值与测量的 RSSI 值的对比	6
5 不同的参数——影响	7
5.1 A——距离发送器 1 米处的 RSSI 测量值	8
5.1.1 测量 A 值	8
5.1.2 A 值与位置计算	9
5.2 N——信号传播系数	10
5.2.1 n 的测量	11
5.3 参考节点的数量	12
6 软件算法	12
6.1 选择“最好”的参考节点	12
6.2 扩展的覆盖面积	12
6.3 等级/层指示	13
7 控制系统/中枢	15
8 常规信息	15
8.1 文档历史	15

## 1 关键词:

- CC2430
- CC2431
- ZigBee
- 定位引擎

## 2 介绍

本文档描述了 CC2431 中的定位引擎。CC2431 是一个 ZigBee 片上系统，那么在一个 ZigBee 网络中使用定位引擎将是它的主要功能。本手册写得比较简单，将不会描述任何协议的具体内容。

本文档主要的目的是介绍定位技术的基本方面，并提供一些心得和技巧使得利用 CC2431 的定位引擎进行系统开发更加容易。本文档应当作为 CC2431 和 CC2430 数据手册的延伸来进行阅读。

## 3 定位引擎

CC2431 中使用的定位算法是基于接收信号强度指示 (RSSI) 值的。RSSI 值将随着距离的增加而减小。

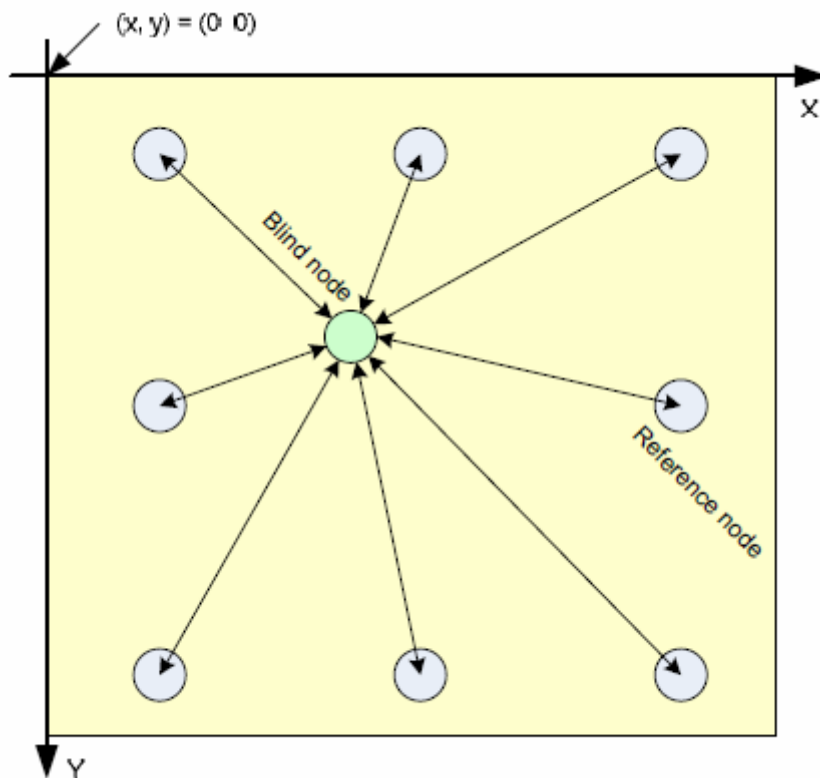


图 1: 位置估计

图 1 所示是一个简单的位置探测系统。“Reference node (参考节点)”是一

个放在已知位置的静态节点。简单的说，这个节点知道它自己的位置，并且在其他节点发出请求时，它能告诉其他节点它们在哪里。一个参考节点不需要有位置探测必须的硬件，它不需要做任何计算。一个“Blind node（定位节点）”是一个利用 CC2431 建立的节点。这个节点将收集所有参考节点对请求的应答，读出各自的 RSSI 值，把收集到的值送入硬件引擎，然后它读出计算出的位置并将位置信息发送给一个控制软件。

从一个参考节点发送到定位节点的最小数据量包括参考节点的 X 坐标和 Y 坐标。RSSI 值由接收者计算，即定位节点。

定位引擎的主要特点是使得每一个定位节点可以进行位置计算，因此算法是分散的。这个性质减少了网络中大量的数据传输，因为只对计算出的位置坐标进行传输，而不是用于实现位置计算的数据。

为了画出实际环境下不同地点的位置，可以使用一个二维坐标图。接下来，方向就用坐标 X 和 Y 表示了。在所有图中 X 被定义为水平方向，Y 为垂直方向。CC2431 的定位引擎仅仅能够处理两个维度，但是通过软件它可能处理一个三个维度（即表示建筑物内的楼层）。(X, Y)=(0, 0) 被定位在网格平面的左上角。

### 3.1 节点类型

#### 3.1.1 参考节点

拥有静态位置的节点叫做参考节点。这个节点必须被预先设置好与实际位置相对应的 X 坐标和 Y 坐标值。

参考节点的主要任务是提供一个包含 X 坐标和 Y 坐标的“参考”数据包给定位节点，也被称为锚节点。

由于这个节点根本没有使用硬件定位引擎，因此它没有必要使用 CC2431。也就是说一个参考节点既可以使用 CC2430 也可以使用 CC2431。由于 CC2430/31 和 CC2420 是基于相同收发器的，所以甚至可以将 CC2420 和匹配的微控制器一起使用作为参考节点。

#### 3.1.2 定位节点（盲节点）

定位节点将和最近的参考节点通信，从每一个参考节点收集 X 坐标，Y 坐标和 RSSI 值，并通过输入定位引擎硬件的参量计算它自己的位置。然后，计算出的位置信息将被发送给一个控制基站。这个控制基站可以是一台计算机或系统中

的其他节点。

定位节点必须使用 CC2431。

### 3.2 用于定位的硬件

定位引擎利用软件层一个非常简单的接口，写入参量，等待进行计算，然后读出计算出的位置信息。本章将讨论不同参量以及它们的解释。

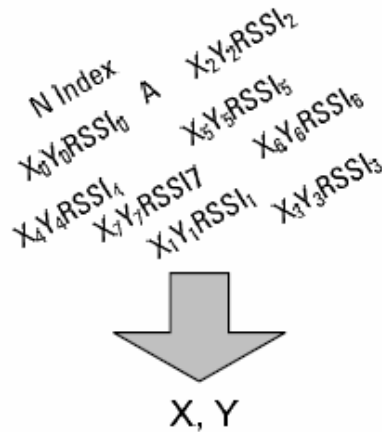


图 2: 定位引擎的输入和输出

#### 3.2.1 输入

表 1 显示了所有需要输入到定位硬件的参量。所有的值的详细描述将在下文介绍。以下是一个简介。

名称	最小值	最大值	描述
A	30	50	距离发送器 1 米处的 RSSI 的绝对值，单位是 dBm。
n_index	0	31	这个值代表信号传播指数，值的大小由环境决定。
RSSI	40	95	接收信号强度指示值，单位是 dBm。定位引擎使用 RSSI 的绝对值作为输入。
X, Y	0	63.75	这些值表示 X 坐标和 Y 坐标对应的确定点，单位是米，精确度为 0.25 米。

表 1: 硬件输入参量表

#### 3.2.2 输出

名称	最小值	最大值	描述
X, Y	0	63.75	这些值表示计算出的关联的 X 坐标和 Y 坐标所确定的点，单位是米。

表 2: 定位引擎输出

## 4 接收信号强度指示 (RSSI)

当 CC2430/31 接收一个数据包后它将自动将接收的数据包添加一个 RSSI 值。RSSI 值总是前 8 个符号周期 (128  $\mu$ s) 的平均值。这个 RSSI 值用 1 字节表示, 是一个有符号二进制补码。当一个数据包从 CC2431 的 FIFO (先入先出) 中被读出后, 倒数第二个字节将包含接收了实际数据包中 8 个字符之后测量的 RSSI 值。即使在收到数据包的同时获得 RSSI 值, RSSI 值也能反映那时接收信号的强度, 因此接收的数据包不需要包含信号功率。在获得 RSSI 值的同时, 当许多节点正在通过相同信道进行会话时, 便为 RSSI 值出现错误提供了机会。



图 3: 接收数据包格式

CC2430/31 包括一个寄存器称作 RSSI。这个寄存器保存着和上面描述一样的值, 但是当收到一个数据包时它并不是被锁定的, 因此这个寄存器的值不能用于进一步的计算。接收到的数据中只有锁定的 RSSI 值可以被认为是在数据接收的同时正确测量的 RSSI 值。

### 4.1 RSSI 值的补偿校准

前面描述的 RSSI 值被表示为有符号的二进制补码。其值不能被读取并认为是接收信号强度。将值转换成接收信号强度读出的实际值时必须加入补偿。这个补偿, 已经在数据手册中给出了, 值是-45, 此外, 这个补偿将决定于实际的天线配置。

### 4.2 线性特性

TI 实验室的实验表明芯片测得的 RSSI 值可以很好地符合信号的输入功率。输入功率和 RSSI 值的线性关系特性曲线可以在 CC2430 的数据手册中找到。

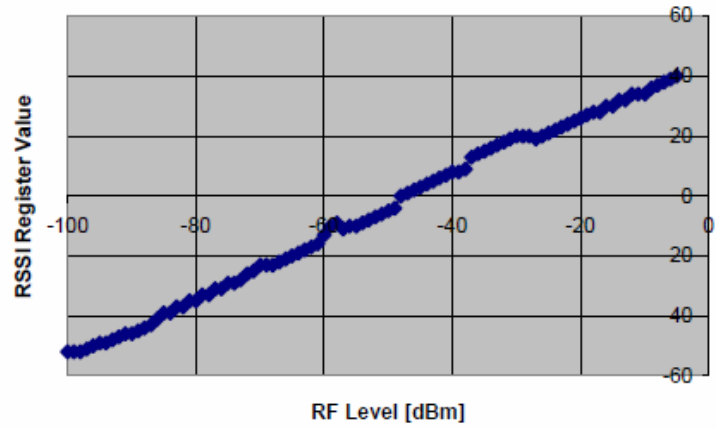


图 4：典型的 RSSI 值和输入功率特性曲线

### 4.3 信号传播理论

接收到的信号强度是发送器和接收器传输功率和距离的函数。接收到的信号强度会按照下面的方程随着距离的增加而减小。

$$RSSI = -(10n \log_{10} d + A)$$

- n: 信号传播常数，也叫做信号传播指数。
- d: 距离发送器的距离。
- A: 1 米距离处接收信号的强度。

有关 A 和 n 更深入的讨论请参见第 5 章。

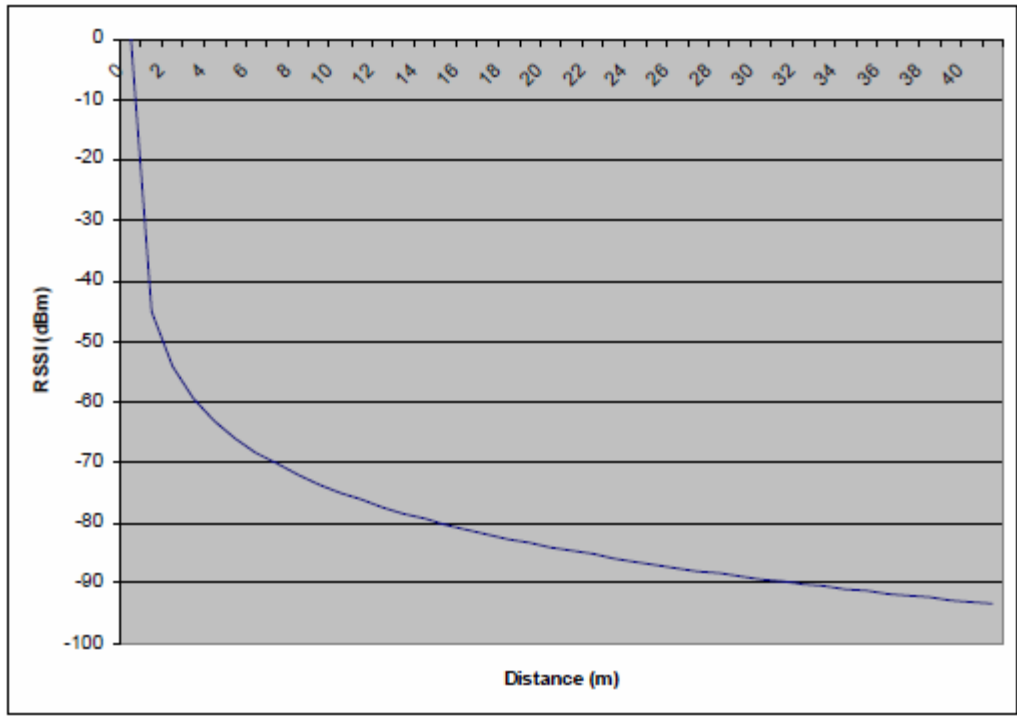


图 5：相应距离对应的 RSSI 值，A=40，n=3

#### 4.4 接收信号强度指示——实际考虑

4.3 节描述了 RSSI 理论值是收发节点间距离的一个函数。这一节将讨论实际中 RSSI 值如何被测量。使用理想方程计算信号强度是非常简单的，但在使用真实值计算时，必须考虑到不确定性。大部分的这种不确定性是由硬件处理的，但应该附加一些软件处理来提高准确性。本节所提出的方法有一个主要目的：以最好的可能方式获取和距离相互关联的 RSSI 值。

##### 4.4.1 过滤 RSSI 值的简单方法

各种滤波器能够被用来平滑 RSSI 值。两种常见的滤波器是简单的平均和反馈滤波器。平均滤波器是最基本的滤波器类型，但是它要求发送更多的数据包。反馈滤波器仅仅使用最近的 RSSI 值的一小部分来进行每一次计算。这样就需要较少的数据，但当计算一个新位置时就会增加延时。

RSSI 平均值的计算的仅仅需要少量的数据包，每个参考节点每次测量和计算 RSSI 值的公式如下。

$$\overline{RSSI} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{i=n} RSSI_i$$

如果要使用过滤器的近似值，可以按照如下公式计算。在这个公式里变量“a”的值为典型值 0.75 或者大于 0.75。这个近似将确保 RSSI 值间的巨大差异将被平滑。因此，如果被追踪的物体在每次计算之间会移动较长距离，那么它是不可取的。

$$RSSI_n = a \cdot RSSI_n + (1 - a) \cdot RSSI_{n-1}$$

##### 4.4.2 计算的 RSSI 值与测量的 RSSI 值的对比

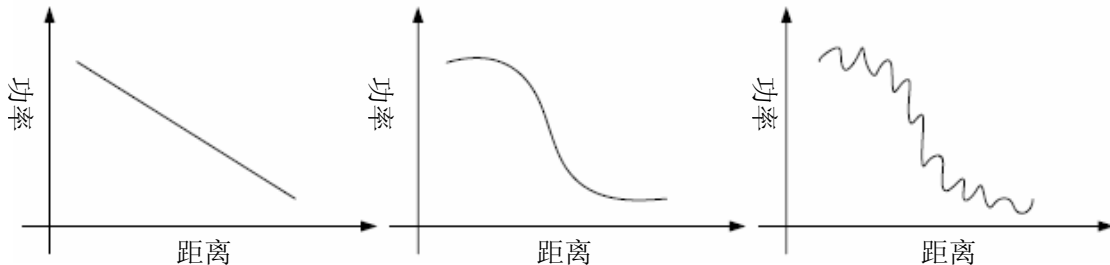


图 6: RSSI 理论值和测量值对比图，距离为对数坐标

这个图表明，从左到右，第一个是 RSSI 理论值，第二个是当一个分量缓慢变化时的 RSSI 值，最后一个是当加入快速变化的成分时的 RSSI 值，例如在多径



分量的影响下。最右边的图表示的信号是最近实际信号的。注意，这几幅图没有显示任何实际的单位，它仅仅表示了在使用 RSSI 值计算位置时的一些问题。

## 5 不同的参数——影响

CC2431 中的定位引擎在位置计算过程中使用两个不同的变量。它们是“A”和“n”，它们要在接下来被讨论。

在本节的例子中使用 RSSI 实验值。这个实验使用 8 个节点，位置坐标如下表。定位节点被放置在参考节点网络的中心，RSSI 的测量值和测量位置如下表。

	X	Y	RSSI
Node 0	20.00	20.00	-71
Node 1	20.00	24.00	-59
Node 2	20.00	28.00	-55
Node 3	20.00	32.00	-69
Node 4	24.00	20.00	-72
Node 5	24.00	24.00	-81
Node 6	24.00	28.00	-50
Node 7	24.00	32.00	-60

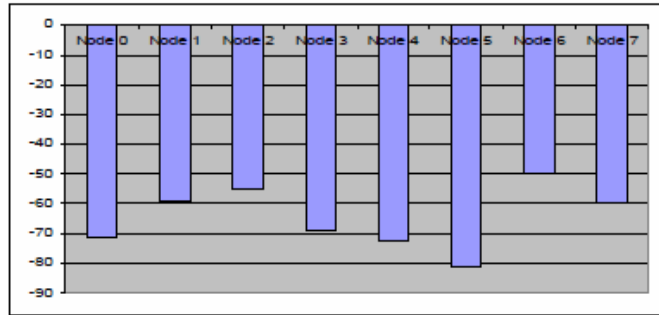


表 3: 例子中使用的参考节点

在这个例子中，Node0，Node3，Node4 和 Node7 被放置在和定位节点等距离地方。Node1，Node2，Node5 和 Node6 也被放置在和定位节点等距离地方，但接近了几米。如上表所示的值，这并不是被直接表现的实测值。

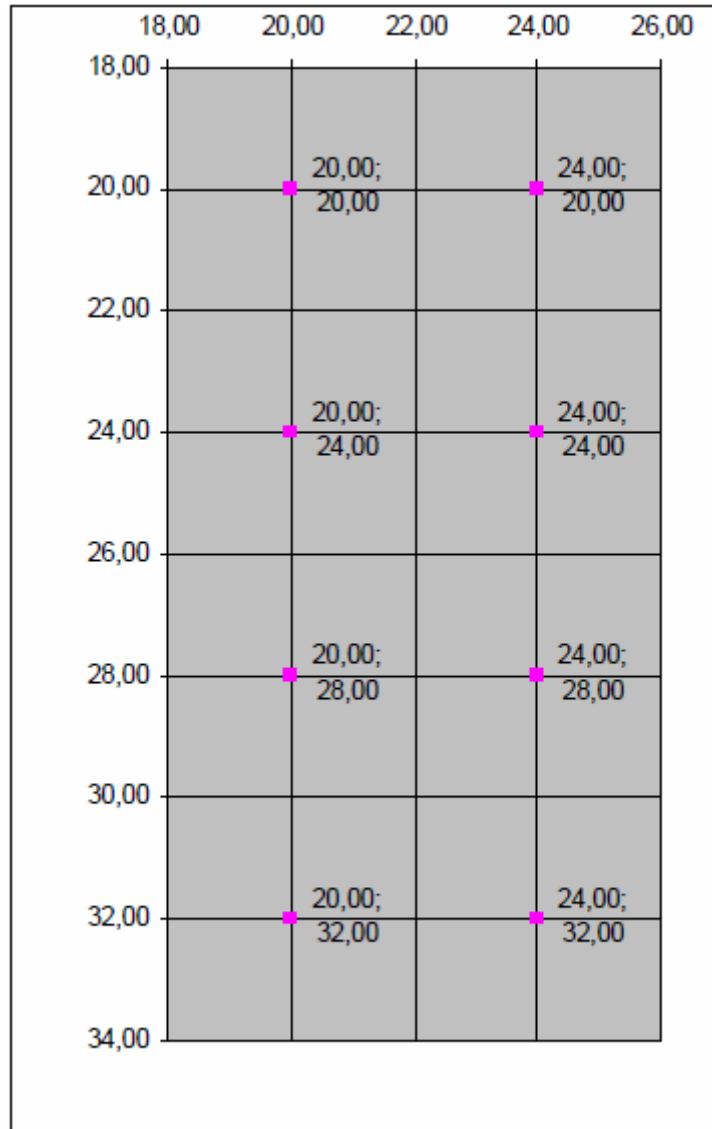


图 7：网格中参考节点的位置

### 5.1 A——距离发送器 1 米处的 RSSI 测量值

A，一个由距发送单元 1 米处测量的 RSSI 值决定的经验参数。

#### 5.1.1 测量 A 值

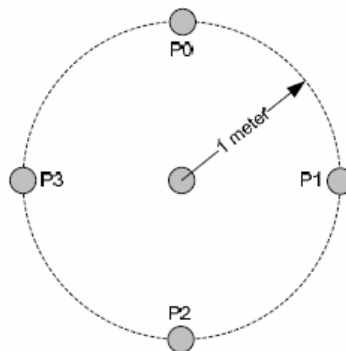


图 8：测量 A 值

理论上 A 值在各个方向上都是相等的。发送器天线和接收器天线是绝对不可能完全等方向性的，因此，应该使用平均值。

图 9 表示的是在距离发送器 1 米处测量的典型的 RSSI 值。这张图显示的值是在图 8 中的 P0、P1、P2 和 P3 位置处测得的。这张图的结论表明天线是不是各向同性的，因此参量 A 应该取平均值。测试中使用的设备所用的平均值大约是 -46。完成这些测量使用的 RSSI\_OFFSET 等于 -45。

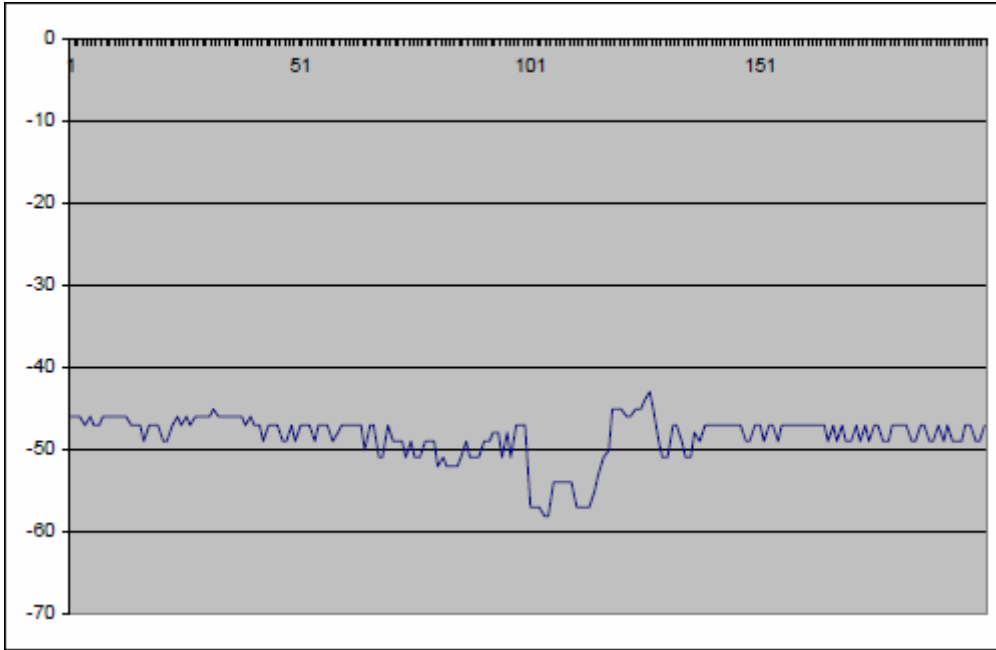


图 9：距离 1 米测量的 RSSI 值

### 5.1.2 A 值与位置计算

下面的图表明了一个不正确的 A 值及将如何影响一个定位节点的位置计算。图中没有给出哪个 A 值使用起来更加正确。蓝色的点表示定位节点使用不同 A 值计算出的它自身的不同的位置，相关地 X 和 Y 将得到更大的差异。一般来说，在办公室室内环境中，A 值取值在 45~49 之间，能够得到更精确的结果。在这个实例中，A 值取值在 45~49 之间算出的位置坐标近似为 (22, 28)，实际的位置坐标为 (22, 26)。

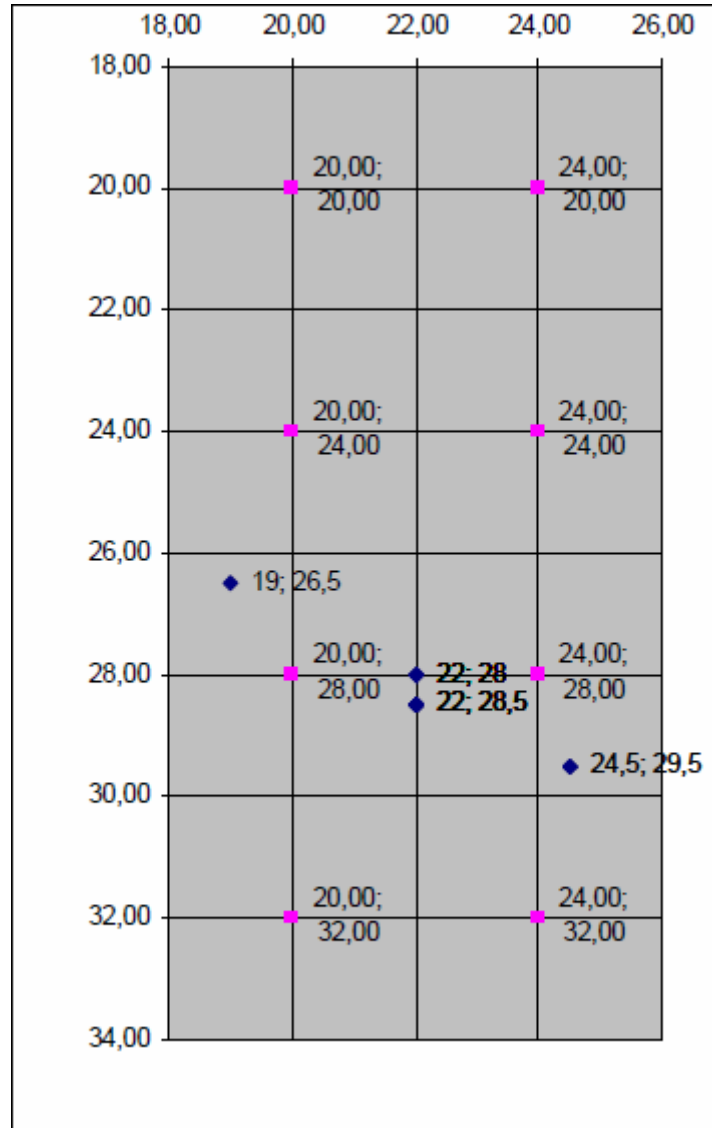


图 10: A 值与位置计算

## 5.2 N——信号传播系数

参量 N 是描述信号强度随着与发送器距离的增加如何减小的一个参量。参量 N 高度依赖传播环境。例如墙壁的厚度会对信号有很大影响。这个值只能凭经验确定。

CC2431 中的定位引擎并不直接使用 N 的值，而是用一个值来代替，称为 n\_index。下表表明了 N 值与 n\_index 值之间的关系。这个转换表用来降低实际硬件运算执行时的复杂性。

n_index	N	n_index	N
0	1.000	16	3.375
1	1.250	17	3.500
2	1.500	18	3.625
3	1.750	19	3.750
4	1.875	20	3.875
5	2.000	21	4.000
6	2.125	22	4.125
7	2.250	23	4.250
8	2.375	24	4.375
9	2.500	25	4.500
10	2.625	26	4.625
11	2.750	27	5.000
12	2.875	28	5.500
13	3.000	29	6.000
14	3.125	30	7.000
15	3.250	31	8.000

表 4: N 值与 n\_index 值转换表

依照表四，N 的取值从 1.0 到 8.0。

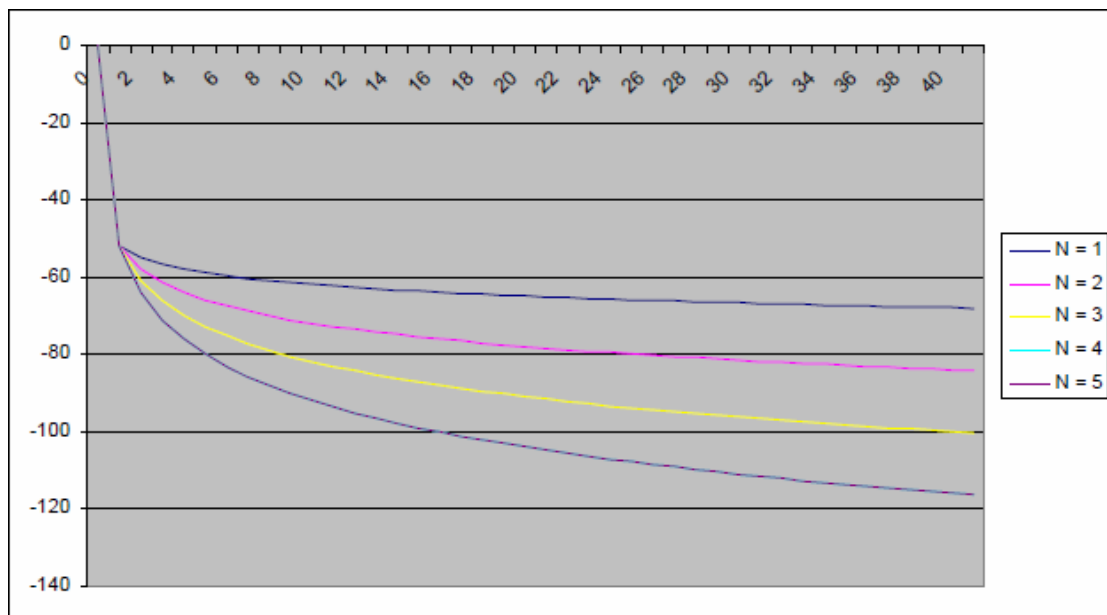


图 11: N 值与距离的关系

图 11 表明了在给定的距离内，N 值的选择是如何影响 RSSI 的理论值的（距离单位：米）。N 值应该符合实际环境，这样才可以尽可能的准确。

### 5.2.1 n 的测量

想找到一个可以适合所有环境的默认的最适宜的值，这是具有挑战性的，甚至是不可能的。最简单的方法可能是在这个系统可以使用的环境中安装所有参考节点，其后测试不同的 n\_index 值来寻找与实际环境最符合的值。

多次实验证明,当 n\_index 的值取 15~25 之间时能够得到较为准确的结果。

### 5.3 参考节点的数量

作为一个经验法则,应使用尽可能多的参考节点。要得到一个可靠的结果最少需要三个参考节点。如果使用的节点太少,那么来自每个节点的影响较高,一个错误的 RSSI 能够明显改变计算出的位置信息。错误的 RSSI 值在这里指与理论值不能很好符合的 RSSI 值,比如由于多径干扰或者信号被墙壁阻隔以及类似情况。

如果定位节点位于参考节点网格的外边,那么结果将很可能和实际位置有太大差异而不能被使用。追踪位于网格外面的物体是不可取的。

## 6 软件算法

一些一般性的算法可以通过软件被实现,它们在下边被描述为一个高等级。请注意,本应用指南没有描述任何使用时具体的网络拓扑结构。

### 6.1 选择“最好”的参考节点

距离定位节点最近的参考节点应该被用来计算位置。这句话的意思是 RSSI 值最高的 8 个参考节点应该被使用,所有其他的节点应该被抛弃。如果 RSSI 值较高的参考节点数量不足 8 个,那么相应数量的参考节点将被使用。

### 6.2 扩展的覆盖面积

硬件定位引擎能够处理的 X 值和 Y 值最大可以达到 64 米,或者更确切的说是在 X 方向和 Y 方向上可以达到 63.75 米。对许多实际应用领域而言这个距离太小了。因此,实际上有必要扩展这个区域。这通过一个简单的软件预处理器算法就可以轻松完成。

每个节点用 2 字节表示 X 坐标和 Y 坐标。这样,得到的最大范围是 16384 米,精度是 0.25 米。

	最大值	精确度
X	$2^{14} = 16384$ 米	0.25 米
Y	$2^{14} = 16384$ 米	0.25 米

表 5: 尺度表

图 12 表示了算法如何工作的一个例子。这张图中，参考节点在 X 方向和 Y 方向上每 30 米布置一个。图中的浅绿色节点是定位节点，所有其他的节点是参考节点。

- 第一步是要找到一个 RSSI 值最高的节点并计算把这个节点移动到  $64 \times 64$  平方米区域的中心的偏移量。由于已知这个节点信号的 RSSI 值，因此到那个节点的距离能够容易的被估计出来。在图 12 中，位置一定在白色的圆圈内。
- 下一步是找出其他除了“最强”点之外可以被使用的参考节点。在图中，其他被使用的参考节点用深蓝色标出。所有参考节点偏移量的值在第一步获得。
- 所有找到的值被输入到定位引擎的硬件中，计算得到的位置结果被读出。
- 最后一步是为计算出的位置添加相同的偏移量。在这些计算过程完成之后，定位节点在全局网格中的位置就知道了。

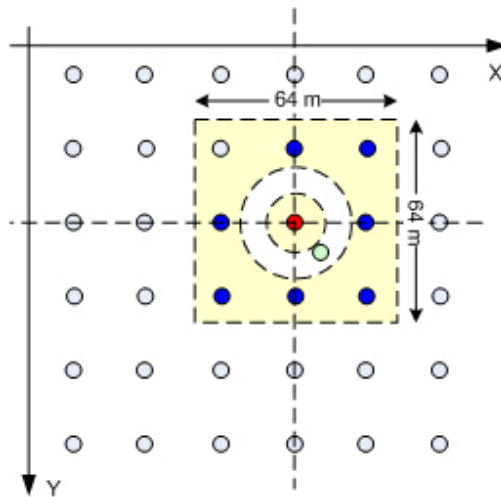


图 12: 64 米 x64 米地图

### 6.3 等级/层指示

硬件定位引擎是为计算二维位置坐标而设计的。这一节将针对如何在软件中扩展出第三个方向给出一些提示和意见，比如大楼中的楼层。

要指示楼层，除了 X 和 Y，必须要增加一个坐标。下文中，这个新增加的坐标用 Z 表示。对于大多数用途而言，用一个字节值表示 Z 坐标已经足够了，这样可以给出 256 个不同的等级。

假设：相比定位节点的信号来说，放置在另一层的一个节点接收到的信号强度要低于同一层的一个节点。这意味着参考节点密度将相当高。假设像定位节点

一样，不是同一层的所有参考节点接收到的信号都强于所有其他楼层的所有参考节点。

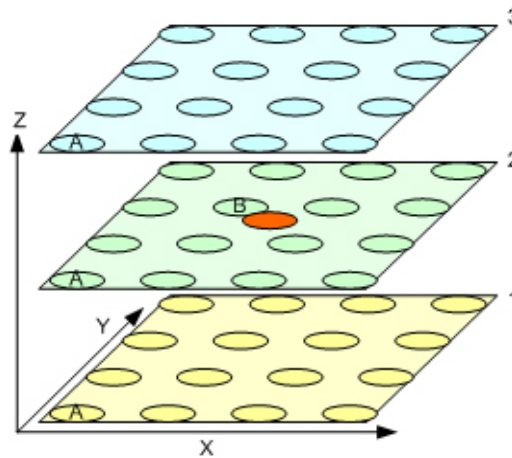


图 13: 三个方向的定位空间网络

图 13 表示了一个简单的用于多层间位置跟踪的网络。图中标示“A”的所有三个节点有相同的 X 值和 Y 值，但是 Z 值不同。所有相同颜色的节点有相同的 Z 值，但是 X 值和 Y 值不同。

一个能够适合使用的算法首先要定位最近的参考节点并读出这点的报告的层数指示。这个层数是假设的，用于确定定位节点的层数。然后，定位节点需要确定只有同一层的参考节点的信息反馈给定位引擎。无论如何，算法多数都是用来选择那些参考节点是可以被使用的，层数指示将仅仅为算法增加一个标准。这个算法的关键点是决定定位节点在哪一层上。可以通过不同的方式做到这一点。如果上述假设是无效的，那么一些其他的算法大多数都能被实现。

在这个示例中，假设最近的参考节点将会提供最强的信号给定位节点。图 13 表示了一个分布在三层上的网络。图中第二层上红色的节点被假定为一个定位节点。上文所述的算法在这个实例中将执行以下操作：

- (1) 找到最近的节点，这个节点在图中被标注“B”；
- (2) 节点 B 将告诉定位节点它位于第二层；
- (3) 然后，定位节点将假定（已知）它也位于第二层；
- (4) 所有其他的用于计算位置的参考节点必须也位于第二层（图中绿色的节点），这些节点的排序由定位节点处理；
- (5) 定位节点按照通常的方式计算它的位置，结果只有 X 方向和 Y 方向；
- (6) 计算出的 X 坐标和 Y 坐标，和已经确定的 Z 坐标一起，得到定位节点



的三维空间位置。

## 7 控制系统/中枢

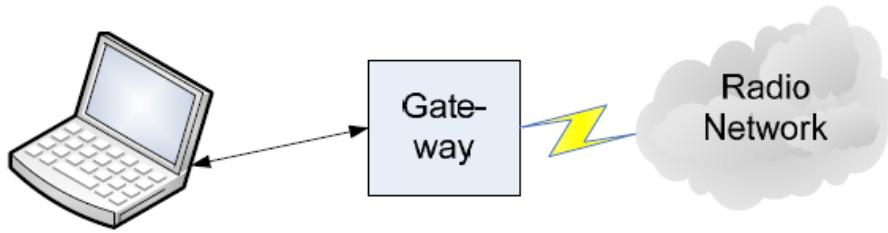


图 14: 无线网络和 PC 的接口

要收集计算出的数据以及和无线节点网络进行交互，各种控制系统是必须的。典型的控制单元就是一台计算机。由于电脑通常不会拥有一个嵌入式无线收发器，因此需要外接一个收发器。

有两种主要的方法来建立一个网关：（1）网关可以是一个被动的设备，仅仅侦听网络中的通信信息；（2）网关也可以网络的主动部分。被动的的方法将主要作为一个信息包嗅探器，网关将只获取射频（RF）信息包并向用户提供获取到的信息。主动地方法给了用户更多的灵活性，但是它实现起来更复杂。

收发器具有什么功能可以叫做网关，是要看适合什么样的应用。一些典型的最小功能包括：

- 设置节点参数；
- 检查网络的状态，比如有多少节点接入了网络；
- 如果它们没有被设定按照规定间隔自动执行时，要求定位节点执行计算。

执行网关任务的设备可以认为是计算网络本身的一部分，可以由参考节点或定位节点来担当。这意味着网关既是一个网关节点，又是一个参考节点或定位节点

所有位置计算都由定位节点来执行，而控制设备将不执行任何的位置计算。网管节点（控制设备）唯一的目的是为用户提供和网络交互的能力。

## 8 常规信息

### 8.1 文档历史

版本	日期	描述/修订
1.0	2006 年 7 月 10 日	初始版本