关于 TITAN 软件雷暴识别追踪算法的介绍

摘要 ：TITAN 的全名为 Thunderstorm Identification,Tracking,Analysis and Nowcasting, 是一个关于雷暴识别追踪的系统, 主要运用的资料是雷达资料, 也可以利用卫星以及闪电资料。 本文的目的是对这个从 1985 年发展至今的气象资料处理系统做一个简单的介绍，主要介绍该系统识别以及追踪雷暴单体的算法。
关键字 ：TITAN 风暴追踪 风暴识别

I. 引言：

最近，北京为了更好地为奥运服务，从美国引进了 TITAN 系统。 TITAN 最初设计的初衷是一种识别和追踪风暴的算法，但是随着软件的发展，该系统渐渐地发展成为两个方向：
1.对算法进行优化以及扩展，以满足预报分析天气系统的要求； 2.TITAN 向系统方向发展，已经从原来的一个简单的算法演变成了数据处理的系统。现在 TITAN 已经发展成为一整套的相关的软件， 处理的数据也扩展到大部分的雷达资料, 卫星资料，闪电感应器， 以及地面观测的资料和数字天气模式。这个软件的显示部分是由 CIDD 扩展的，并且经过 Frank Hag 的发展，是基于 JAVA 的显示界面。一开始的 TITAN 是由 FORTRAN 语言编写，后来在 2, 3, 4 版的时候移植到了 C 平台上，在第 5 版的时候又被移植到了 C++的平台上，现在这个系统几乎只能用在 LUNIX 系统上，并且在改版的过程中，基于优化理论，新的风暴追踪算法代替了原来的算法，第 5 版的 TITAN 系统甚至包括的对长期风暴天气的分析。
以上对 TITAN 系统的历史以及发展做了一个简要的介绍，下面的文章里将重点介绍这个系统的两个算法：雷暴单体识别算法以及雷暴单体追踪算法。

II. 雷暴单体识别算法

TITAN 是利用 3-D 或者 2-D 的直角坐标系里的雷达一次体扫描数据进行风暴识别的。 因为雷达体扫描的数据是极坐标的数据, 所以在识别风暴之前， 要把极坐标的数据转化为直角坐标的数据，这些直角坐标的数据可以看作是把风暴切成水平的一片一片的，即 CAPPI（Constant Altitude Plan Position Indicator ）,把整个体扫描数据进行等高度差的水平分层。

a.单阈值风暴识别系统

单阈值风暴识别系统也是我们现在最经常用的一种风暴识别思路, 我们一般定义一个阈值， 比如 30dbz 代表小雨， 40dbz 代表中雨， 50dbz 代表大雨， 56dbz 以上基本上判断为冰雹。

下图是在 4KM 的 CAPPI 图像（来自 TITAN 官方网站）。在这个图里面，在雷达站的南部有一条飑线， 即一个雷暴群， 在雷达站的东北方也有一个雷暴群。 用单阈值识别雷达单体方法如下：

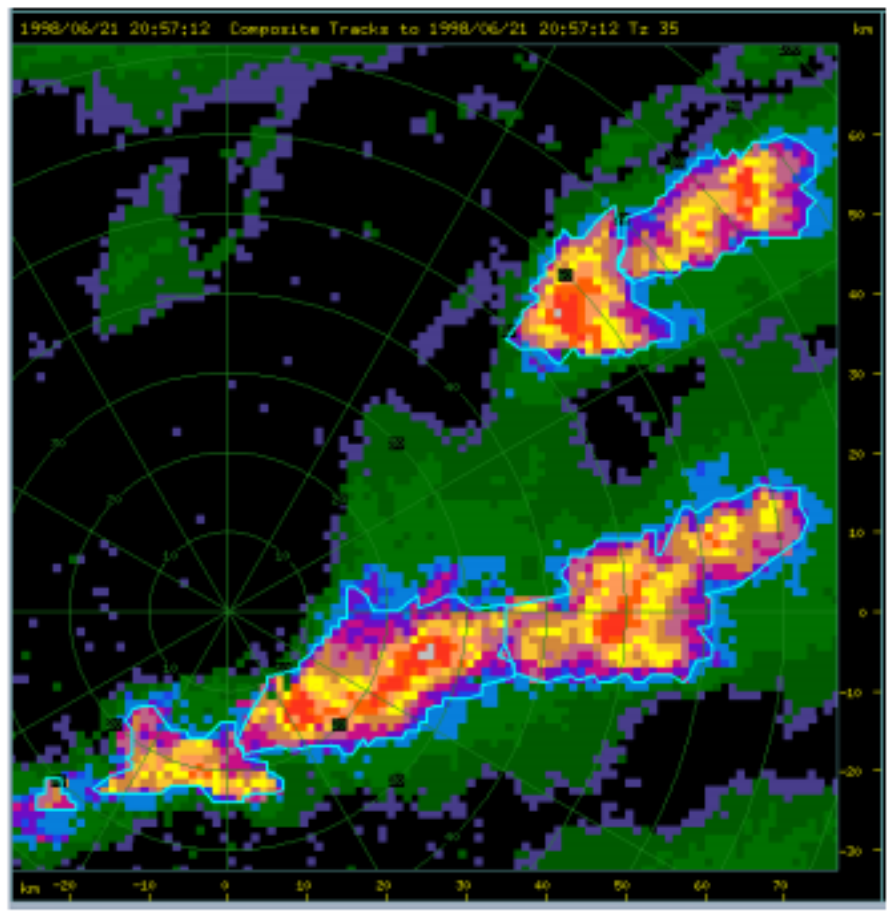
1. 在东西方向的数据网格中找到超过某一阈值的区域, 识别出两个相邻区域连接重合的地方。
2. 在南北以及不同高度上识别出相邻区域的连接重合的地方。

以上的算法即雷暴单体的三维分析, 但是这个分析有一个缺陷， 因为在进行回波强度判断的时候都规定一个最低高度和最高高度，所以如果一个雷暴的体积超过了那个界限，那么这个雷暴单体将会被忽略掉。

b. 双阈值风暴识别系统

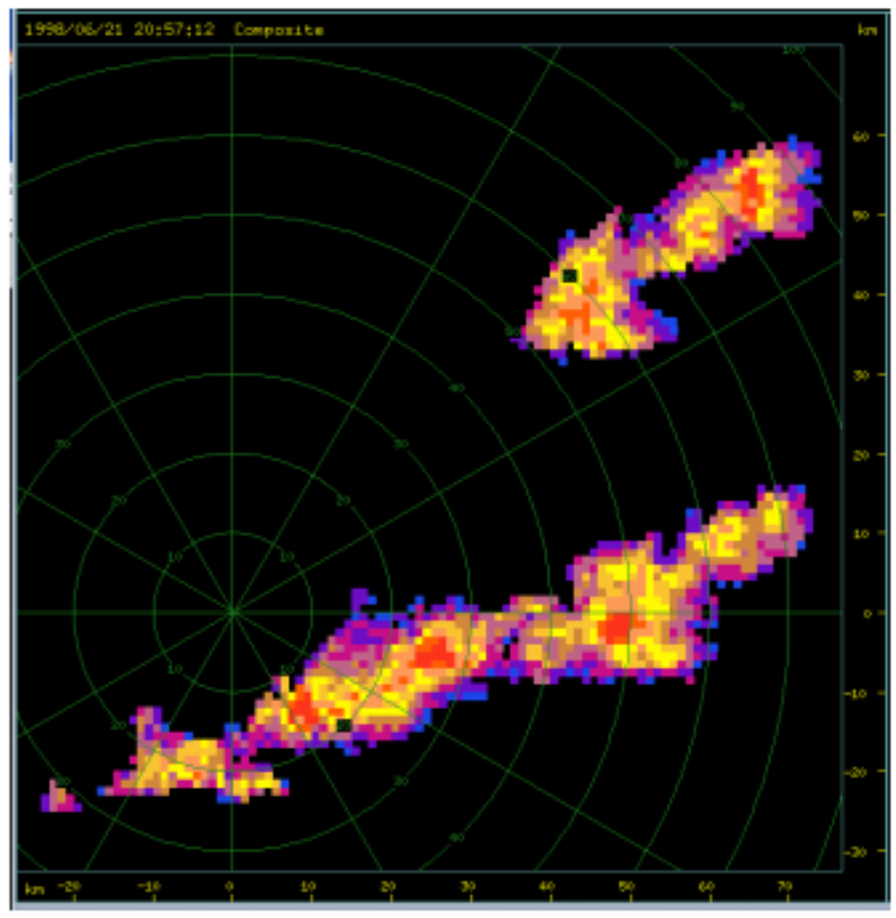
单阈值的另外一个问题就是两个不同单体之间的重合区可能很窄，几乎互相粘着，而这种情况物理上是不存在的。为了解决这个问题，我们要设定第二个阈值，在单阈值中文名设定 35dbz 作为主要的阈值，那么第二个阈值我们设置为 45dbz。

下面的图就是利用双阈值的算法勾画出了雷暴单体，一个风暴被分成了几个部分。

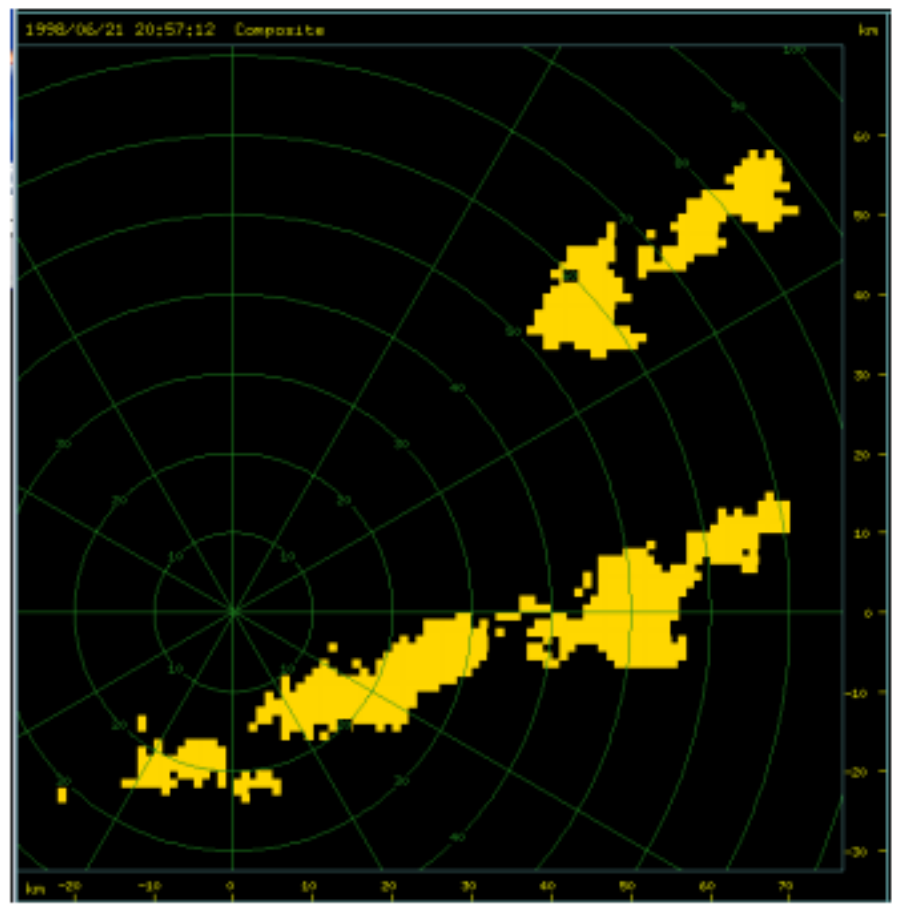


算法的具体过程：

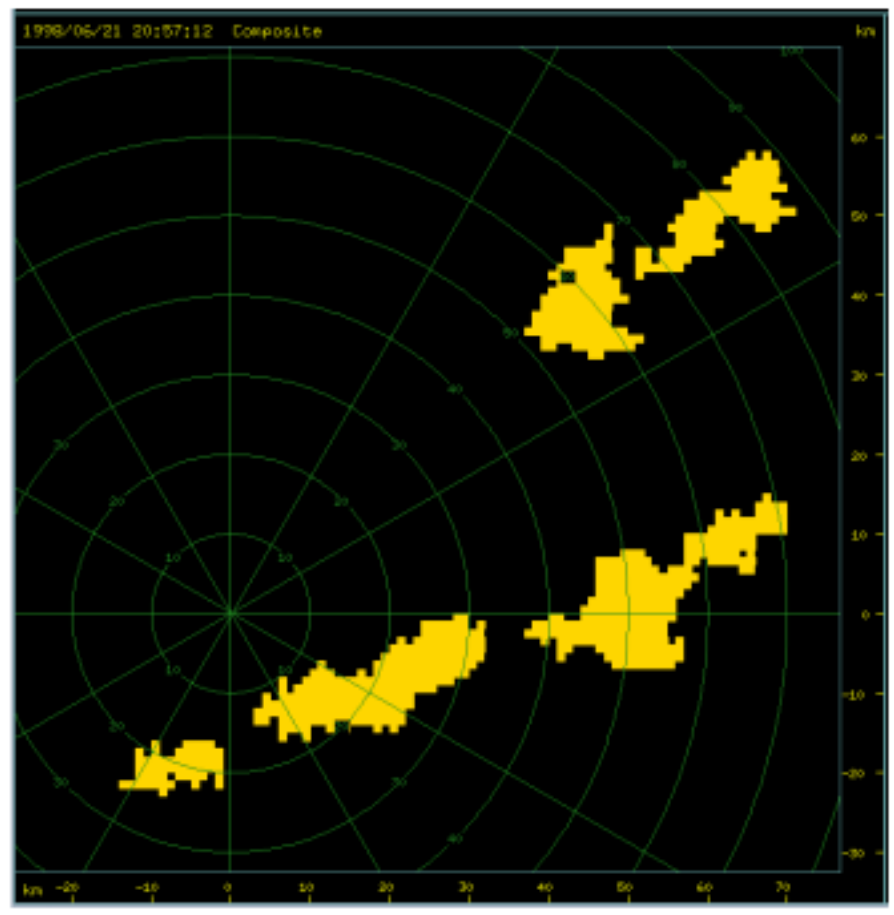
1. 提取出各个高度上的最大回波，并且这些回波大于 35dbz，在 PPI 图上显示出来，如下图：



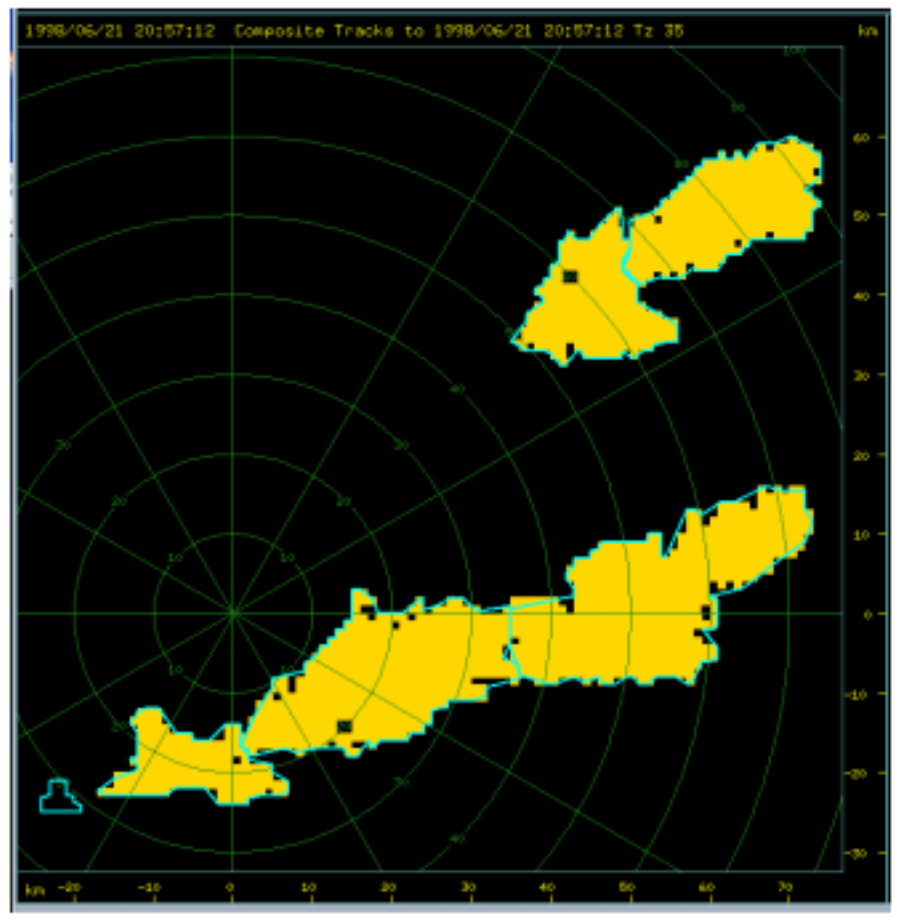
2. 找出那些回波强度大于 45dbz 的数据格点。如下图



3. 把一些孤立的点去掉，留下我们觉得有意义的那些区域的数据格点，如下图：



4. 然后让这些区域慢慢增大，重新回到 35dbz 的阈值，当这些分开的区域的边界重合时，停止增长，这样就得到了每个单独的雷暴单体。如下图：

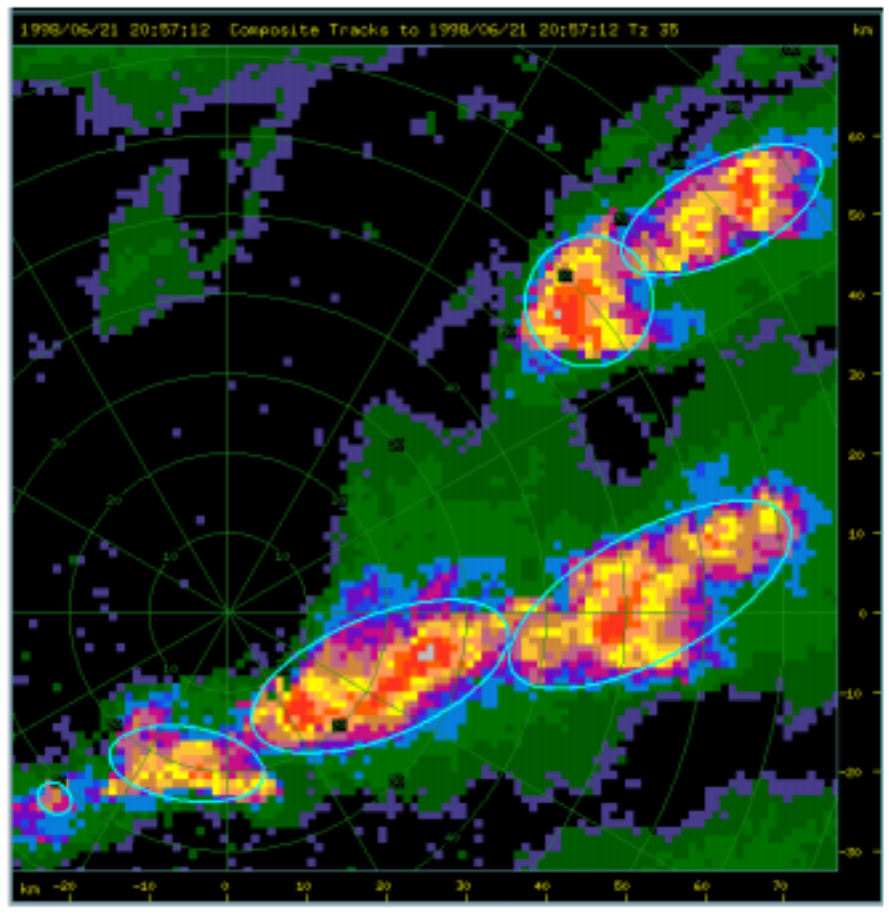


在用双阈值的算法中，主要是从雷达体扫描的数据中找到各个雷暴单体的中心，即回波最强的地方，然后在第二个阈值的基础上，慢慢地减小显示的阈值，直到显示区域的边界接触，这个原理依据雷暴单体从中心到边界回波强度逐渐变小的特点。在缺点了 2-D 的雷暴单体边界后，TITAN 从新找回 3-D 上的数据，并且把它们定位到相应的雷暴上面。

c. 雷暴单体的空间表现法

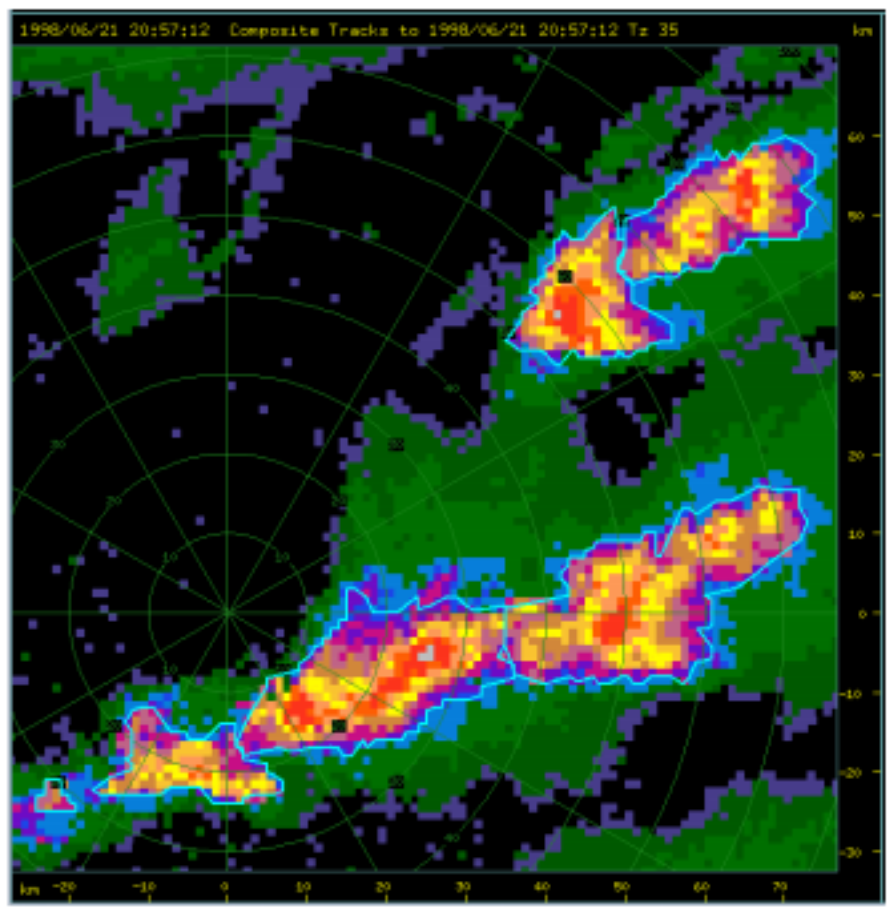
在 TITAN 网站上介绍了两种表现风暴的方法：椭圆法和多边形法。

1. 椭圆法：



2. 多边形法：

多边形法对于椭圆法对于飑线表现不好的缺点有了很好的改进，可以对一些比较复杂的回波形状进行表现，可是不能表现弓状回波。



III. 雷暴单体追踪算法

a.运动路径判断

雷暴单体路径追踪算法可以对雷暴单体的发生过程，移动路径进行跟踪，这样对于风暴

灾害性天气的预报起到了积极的作用。 可以比较精确的预报出风暴的移动路径， 以后可能发展方向。

运动路径的判别主要是基于连续两次雷达体扫描的数据进行判断， 决定单体运动方向的因素有：时间采样率， 风暴的空间分辨率， 风暴的运动速度， 以及对运动方向的预报精确度。

一般来讲，风暴的运动速度在 5-100KM/H ，而现代雷达的扫描的时间一般是 3-6 分钟一次。所以，对于运动比较快的风暴（ 100KM/H ），当雷达进行一次体扫描的时候，可以运动 5-10KM 。而风暴的直径一般在 2 到 20KM 。如果有两个雷暴单体，他们的间距小于他们的直径（虽然这样的情况很少，但也不是不可能） ，如果一个雷暴单体在两次体扫描的时间中运动距离超过了它们互相之间的间隔，就很容易引起运动判断的模糊。

当然，雷暴单体之间的距离一般来讲不会靠的很近。另外，当一个雷暴单体经过一个地区的时候， 会带走一些暖湿气体并且会有下沉冷空气。 所以， 如果该地区还会产生新的雷暴单体的话， 那也需要一段时间， 至少需要足够的时间加热以及有湿空气的平流以创造对流天气产生的条件。 所以， 我们不用担心当一个雷暴单体经过一个区域的时候， 会在它的后面马上产生一个新的雷暴单体，以影响我们的判断。

对于雷暴单体的运动方向的判断。根据雷暴单体形成的原理，雷暴单体运动方向的改变主要取决于新的雷暴切向方向的发展以及周围环境的风（多普勒雷达可以判断出径向风） 。

在进行算法前，先做如下假设：

1. 正确的发展倾向包括短路径而不包括长路径；
2. 正确的发展倾向考虑到风暴的特性（尺寸，形状等） ；
3. 对于期望中的风暴移动速度在时间差里给出一个最大值。

在 TITAN 中，最优化利用了匈牙利算法。

b.关于合并和分裂的解决方法

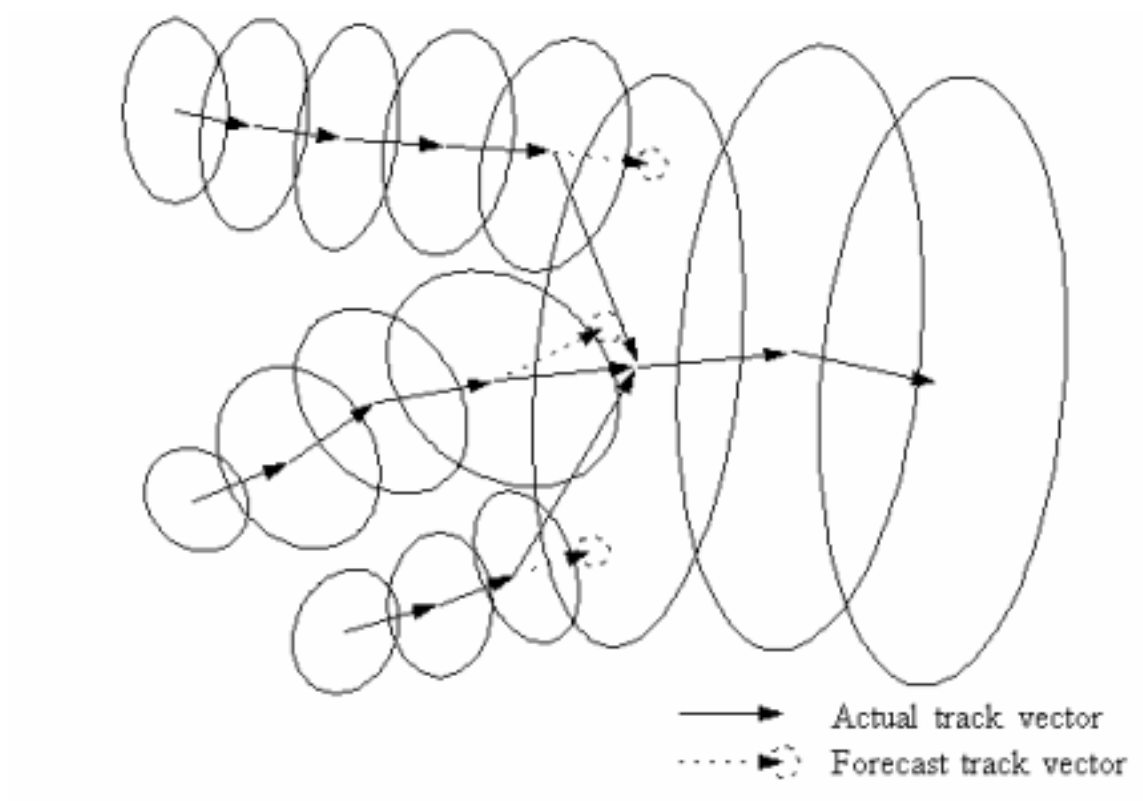
合并：几个雷暴单体合成一个雷暴单体的过程；

分裂：一个大的雷暴单体分裂成几个小的雷暴单体的过程，这样的情况一般不多见。

对于合并问题的路径追踪方法：

1. 根据 t1 时刻的风暴以及当前的风暴的发展情况确定下一个时刻的雷暴单体的质心的位置（需要一个比较好的算法） 。
2. 如果 t2 时刻的雷暴单体的体积覆盖了我们预测的几个质心， 那么认为 t1 时刻的几个雷暴单体合并了，对路径进行合并；

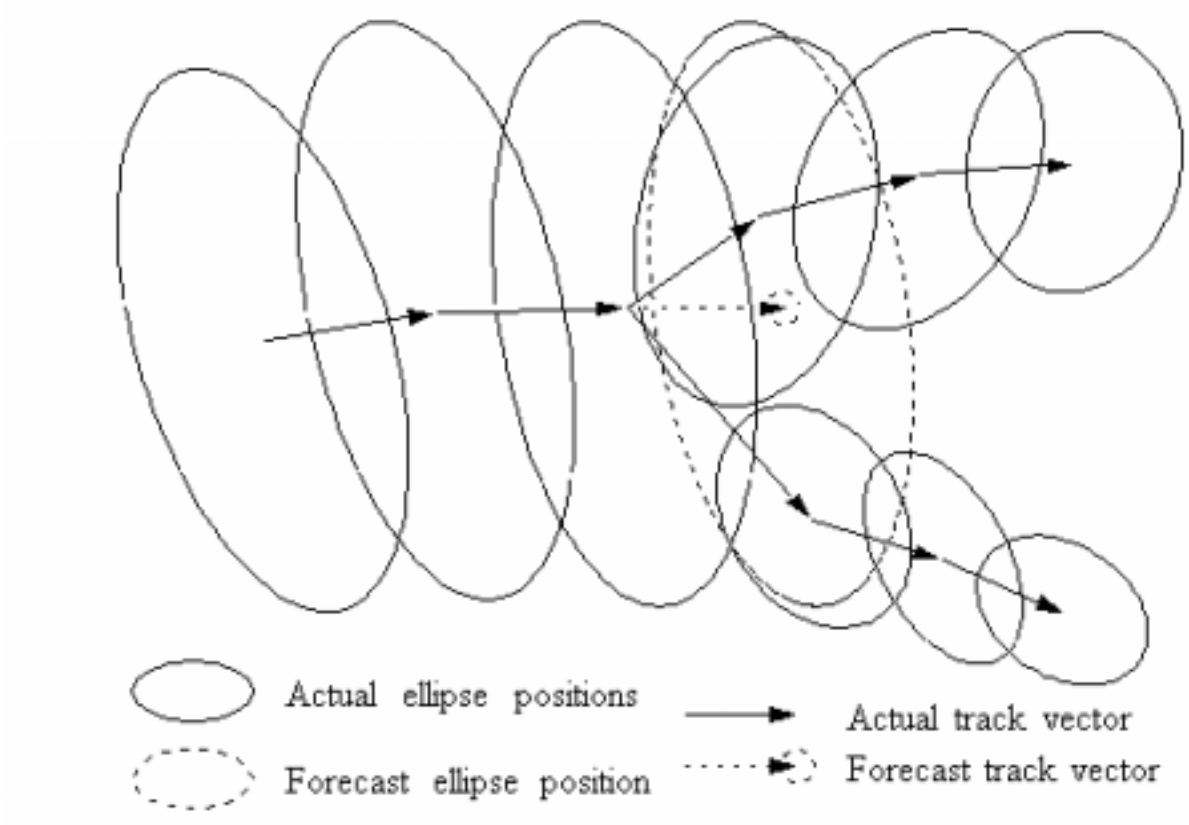
如下图：



对于分裂问题的路径追踪方法：

1. 根据 t1 时刻对雷暴单体的路径进行追踪，并且预测出 t2 时刻这个单体的大小，形状。
2. 如果 t2 时刻在预测的投影里面出现了几个独立的雷暴单体，那么认为雷暴单体分裂成几个了，对路径进行分叉。

如下图：



IV. 总结

本文的内容基本上来自 http://www.rap.ucar.edu/projects/titan/home/index.php，对该网站的内容作了简单的翻译以及概括。在该网站中，主要介绍了 TITAN 进行风暴识别以及追踪的原理，更复杂的算法的实现以及源代码没有给出（也不可能给出），这只不过是 TITAN 功能的一部分，在上文中已经提过，TITAN 从开始发展到现在已经有 20 多年，可以处理大部分的遥感资料，由于 TITAN 只能运行在 LINUX 系统上面，在 windows 系统上还不能运行，所以由于我的系统是 windows 的，下载下来了安装文件（在网站上可以申请到非商业用途的序列号）也不能安装，所以也没用更深入一步的研究。

参考文献：

1. http://www.rap.ucar.edu/projects/titan/home/index.php
2.《中尺度气象学》寿绍文主编 寿绍文 励申申 姚秀萍 编著 气象出版社