

基于道路轮廓的自动生成道路路心线算法

朱庄生 王庆 万德钧

(东南大学仪器科学与工程系, 南京 210096)

摘要 在对面向车辆导航 GIS(VNGIS)和一般 GIS 的共性和区别进行分析的基础上,提出了一种基于道路轮廓线的、自动生成道路路心线算法,同时介绍了路心线求取的一般算法,即先用基于层轮廓三维重建的最短对角线法来生成三角形网络;然后由三角形网络生成道路路心线;还介绍了在遍历道路网络时,几种确定初始轮廓和判断道路路口的的方法;接着详细说明了单条道路模板跟踪算法,在算法中采用了双模板法和轮廓线生长准则,从而有效地完成了在道路跟踪过程中对道路轮廓线中白噪声的消除;最后叙述了道路网络的遍历算法.实验研究证明,该算法可以快速、精确而又稳健地获取道路路心线,因此极大地加快了面向车辆导航电子地图的制作速度和精度,具有广泛的应用价值.

关键词 地理信息系统(420·3040) 路心线 数字地图 车载导航系统

中图分类号: P208 TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)07-0792-06

A Study on Automatic Generation Road Center-lines Algorithm Based on Road Contour

ZHU Zhuang-sheng, WANG Qing, WAN De-jun

(Department of Instrument Science and Engineering Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract Firstly, this paper studies sameness and differences of VNGIS(Vehicle Navigation Oriented Geographic Information system) and geographic information system. Automatic generation road center lines algorithm based on road inner-outer contour is presented. Then the paper mainly focuses the research of the study of double rectangle template track single road inner-outer contour and generate its center line. one template apply to track road inter-outer contour line, and at the same time triangle network is generated; the other judge if the current position is crossroad. In the end, the paper describe that the center lines of the whole road network are automatically generated when traversing. Road-segment list is created, and through modifying the list, road network is traversed. Experiences show; the arithmetic speediness, precision and sureness acquire road center-lines.

Keywords Geographic information system(GIS), Road Center-line, Digital Map, Vehicle navigation system

0 引言

将 GIS 引入车辆导航领域,即利用 GIS 的图形接口来辅助车辆导航,以形成面向车辆导航的 GIS 系统 VNGIS(Vehicle navigation oriented GIS).作为特殊应用的 GIS, VNGIS 继承了常规 GIS 的几乎所有特点,但它又有自身的特点,主要表现在:(1)在数据源上, VNGIS 大部分功能都来源于对道路网络的操纵(即对道路路心线的操纵);(2)在数据获取上,车辆导航系统能够正确进行地图匹配的前提是,数字

地图数据库中的空间实体能够和外部世界的真实情况对应起来.但是由于现实世界中的道路网络是时常发生改变的,为了保证导航系统的整体性能, VNGIS 需要有一种快速的方法来实现空间数据获取和空间数据更新,因此,数字地图空间数据库自动获取和快速生成技术的研究就摆在世人的面前.

由于 VNGIS 本身的特点,因此在 VNGIS 的数据库生成上,可以利用目前已有的 GIS 数据库加以适当处理来得到符合车辆导航的 VNGIS 数据库.目前市场上的数字地图大部分是由遥感图片或者纸质地图经扫描,然后矢量化而生成的.由于地图中只

存在道路轮廓线,不存在道路路心线数据,因此需要重新添加路心线.添加路心线的传统做法是通过手工添加.该方法的缺陷是:效率低、精度差,且容易产生一些肉眼不易觉察的拓扑错误.

文献[1]~[3]提出了比较典型的道路信息提取算法,该方法是基于知识来对卫星数字地图中的道路信息进行自动提取,其优点是理论上具有先导性,它可通过知识来控制信息获取,人工参与少,自动化程度高,但是,该方法存在的问题是对原始图的要求较高,且对低等级道路提取的效果较差,其带来的后果是在实现了高度自动化提取后,仍需进行用户的校正与修改,而这种校正和修改仍旧非常繁琐费时,而且往往容易带入新的误差.此外,由于该算法主要针对卫星数字地图,因此应用场合有限.本文提出了基于道路两侧轮廓线的道路路心线自动生成算法.本算法主要针对现有的经过矢量化后(或者纸质地图扫描后)仅存在道路轮廓线的数字地图,在生成道路路心线时,首先由用户进行适当修饰,然后通过由计算机自动处理修饰后的矢量图来自动生成道路路心线.由于本算法不仅可以快速、精确而又稳健地获取道路路心线,而且可以在后续道路网络的遍历过程中自动生成道路的拓扑关系,因此可大大地简化和加快数字地图的制作.到目前为止,作者尚没有发现针对纸质地图扫描后(或者矢量化后)利用道路的两条边线来对道路路心线进行自动搜索算法研究的文献介绍,相对于文献[1]~[3]的研究,本文提出的方法具有更大的应用和推广价值,它可以极大地加快面向车辆导航的数字地图的生成速度和精度.

本文研究基于如下假设:(1)矢量化地图已经经过修饰,修饰后的道路网络应该是强连接的,道路中的矢量化后的桥梁矢量曲线,应该暂时冻结,否则可能影响道路追踪;(2)道路网络的道路轮廓线通常是平行的或者是曲率大致相等的,这与现实世界的道路网络的特点相像;(3)道路网络中一条道路的截面大致相近,不会发生大的突变;如果道路截面在某处突然增大,通常表示该点存在道路分叉;(4)在十字路口以外,道路内部不应该存在过小的转弯半径,这是合理设计交通网络的首要条件之一.

1 轮廓插值和路心线生成算法

1.1 路心线求取的一般算法

如果已知道路两侧的轮廓线,则可以通过如下

轮廓插值方法来生成道路路心线.其生成过程如图 1 所示.设两条非封闭轮廓线 P 和 Q 组成道路内、外轮廓,其轮廓线点序列分别为 P_0, P_1, \dots, P_N 和 Q_0, Q_1, \dots, Q_M (图 1(a)),若点列走向完全一致,则由相邻的一组轮廓来生成中心线的算法可表述为:(1)利用两轮廓的节点来生成三角形网络(图 1(b));(2)利用三角形网络中连接两个轮廓边的中点来生成路心线(图 1(c)).

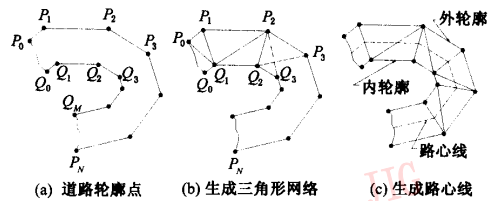


图 1 中间轮廓的三角形面片插值方法

本文采用 Christiansen 提出的基于层轮廓三维重建的最短对角线法^[4]来生成三角形网络,该算法的原理如下:

对于轮廓 P 上的任意一点 P_i ,假如轮廓 Q 上距 P_i 最近的点为 Q_j ,则通过连接 $P_i Q_j$ 来构造三角形网络.假如对角线 $P_i Q_{j+1} < P_{i+1} Q_j$,则连接 P_i, Q_{j+1} 形成三角面片 $Q_j P_i Q_{j+1}$,否则连接 P_{i+1}, Q_j ,如此循环,直到形成连续的一组三角形网络(图 1(b)).

当得到全部的三角形后,再求出所有连接两条轮廓边的中点序列,并将这些点序列连接起来,则这条连线就是路心线(图 1(c)).

1.2 基于种子的轮廓初始设定

前面阐述了由单外轮廓和单内轮廓来自动生成路心线的算法,但对于道路网络(如图 2 所示)而言,显然上述方法不足以解决问题.

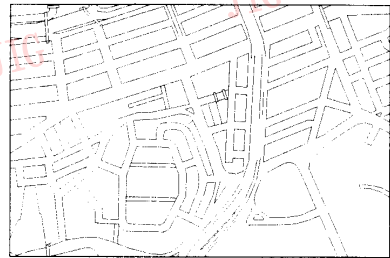


图 2 道路轮廓网络图(香港矢量地图局部)

文献[4]介绍了一种在常规情形下,存在多轮廓情形下的一种三维重建方法(同时也可以用来生成中间轮廓),该算法首先建立每个轮廓的外接椭圆,

同时计算椭圆中心及长短轴长度;然后建立全部轮廓线的无向图,并用式(1)计算权值

$$C_{i,j} = (A_i - A_j)^2 + (B_i - B_j)^2 + (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \quad (1)$$

接着,用上式计算的权值来建立最小生成树,如果边 (i,j) 包含在最小生成树中,则认为两轮廓之间存在对应关系;最后通过对最小生成树进行分割遍历来最终生成所有的路心线。然而,这种算法对目前越来越复杂的地图并不合适,其表现在:(1)道路两侧路边线所构成的轮廓线并不能够直接得到,并且矢量化图中存在许多其他类似道路轮廓的实体(如河流、湖泊)轮廓;(2)利用最小生成树法得到的中心线显然只是路心线的一部分,它不可能求出所有的路心线。

另外一方面,道路路心线的获取又可以看成是矢量化算法的同源问题。1988年,Baruch提出基于线跟踪的细化思想,同时给出一种细化算法^[5],他认为线跟踪是人类进行图细化的一种自然方式,即同时跟踪线条的两侧轮廓,而两轮廓的中心线即作为线条的骨架,不仅细化过程可一次完成,且无需迭代。Chouinard和Plamondon基于Baruch的线跟踪细化算法,提出了一种改进算法^[6];Han和Fan提出了一种利用两侧轮廓矢量配对来确定中心线的方法,所有这些算法都是通过轮廓跟踪来决定中心线的方法。

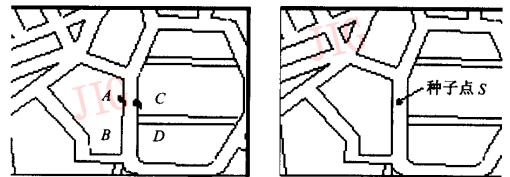
图2表示了栅格地图矢量化后的轮廓图以及其他实体图。由图2可以看出,在现实世界中存在多个内轮廓的内外轮廓的路心线的插值问题。此外,由于图形中还存在着矢量化后河流、房屋、土地、山脉等其他实体曲线,因此如果想通过程序来自动生成道路路心线,则必须首先将道路轮廓和其他实体分离开来。一般情况下,道路轮廓有别于其他实体,其变化比较平缓,比较容易和其他实体区分。但是有些实体,如变化平缓的河流轮廓线,往往凭肉眼很难与道路区分,此时若再通过轮廓跟踪来决定中心线,则显然是很困难的。

但是,由于道路网络是互通的,且用于车载导航系统的数字地图也通常是强连通的,因此如果已知一点在道路网络的某个路段内部,则由此就可以得到附近的道路轮廓线;再通过跟踪轮廓线,就可以得到整个道路网络的所有的内、外轮廓,即由道路两侧轮廓构成的道路网本质上是多孔的区域。当指定了道路区域中的一点后,则道路路心线的搜索过程就可以转化为对道路区域的搜索问题。当得到了道路

区域的所有的内轮廓和外轮廓后,就可以通过道路区域来完成路心线的搜索。

矢量化图中,在没有先验知识的情况下,由于很难分清哪一条是道路的轮廓线,因此这个时候无法确定与搜寻过程对应的初始道路轮廓线的问题。从理论上讲,通过对矢量图的全部区域或者是部分区域进行知识归纳、自学习,通常可以获得道路的初始轮廓线,然而这种算法存在一些问题,其表现在:(1)学习过程复杂,要将大量的空间数据进行关联分析,将会耗费大量的时间;(2)地图矢量图中存在的一些实体(如河流),在某些时候如果不考虑全局或者不对照纸质地图,通常连肉眼都很难区分,因此这种基于自学习、知识自动发现的算法是很不稳健的,且很难表达对应的元知识;(3)地图矢量图中存在很多缺陷,如断线、冗余线段等等,这将给识别过程带来很大的麻烦。

鉴于上述原因,在实际操作中常由用户设置初始轮廓,常用方法有:(1)用户直接指定某一条道路的边线(如图3(a)所示);(2)用户在道路区域内,任意选定一点,然后以此点为种子来搜寻道路两侧的轮廓线(如图3(b)所示)。



(a) 设定初始轮廓

(b) 设定初始种子

图3 人工指定初始道路边线

1.3 基于种子的初始轮廓生长算法

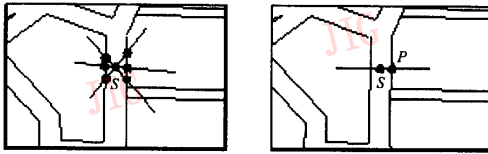
基于种子的轮廓并行生长算法可以表述如下:(1)用户设置起始搜索种子;(2)由种子作扫描线,以确定初始道路的轮廓线;(3)将搜寻到的轮廓沿任意方向生长,并用相应的一组轮廓线来生成内轮廓。

当用户设定初始种子后,就可以采用扫描线算法(如图4(a)所示)来得到初始轮廓,该算法按照一定的角度间隔作经过种子点的直线段,并且寻求这

图4 不同算法初始轮廓的选取

些直线段与矢量图中其他实体的交点及与交点对应的实体,假设种子点为 S ,其左侧最近交点为 Q_i ,右侧最近交点为 P_i ,则可以采用式(2)所示代价函数来确定初始轮廓

$$f(i) = |Q_i S| + |S P_i| = |Q_i P_i| \quad (2)$$



(a)扫描线算法 (b)最近点估计算法

选取与式(2)值最小直线段的一对交点对应的两条轮廓为初始轮廓. 另外一种求取初始轮廓的算法为采用最近点估计算法(图 4(b)), 即首先寻找距离种子点 S 最近的实体及相应的点, 然后以该点和种子点作直线段, 分别求种子点两侧最近的交点和对应的实体, 通常对应的实体就是初始轮廓.

2 道路交叉路口的确定

通常现实世界中道路两侧的路边线总是几乎平行的, 因此如果发现道路两侧的路边线角度存在大的差异时, 则通常可以认定前方存在交叉路口. 假设同一条道路路边线角度差的阈值为 θ_0 , 则依据前面的假设, 前方是否存在道路路口的判断算子如下式所示.

$$\theta > \theta_0 \quad (3)$$

然而, 如果直接采用式(3)作为判断依据, 则在实际应用中是不够的, 因为矢量图通常由纸质地图通过矢量化来获得, 而这种处理过程将带进新的误差, 如高频噪声分量的引入. 图 5 显示了由于矢量化过程而带来的路边线变形(图 5(b)), 依据式(3)得到的结论是, AA', BB' 附近将存在一个交叉路口, 然而单纯观察图 5(c), 实际上是不能够确认这个结论的. 如何解决由矢量化等处理过程而引入矢量图的高频噪声对道路跟踪的影响问题, 可以有如下两种方法: (1) 直接对矢量地图进行预处理, 首先消除这种高频噪声; (2) 采用式(4)提出的新的判断条件进行判断.

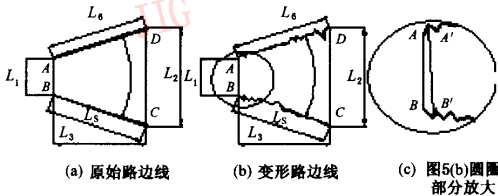


图 5 道路轮廓跟踪的终止准则 1

$$\begin{cases} L_i > L_0; i = 5, 6 \\ \theta > \theta_0 \end{cases} \quad (4)$$

式(4)表示, 当道路的任何一条边线超过某个阈值, 并且与左、右两边的起始两点连线组成的两段有向线段对应的夹角大于某个阈值时, 那么就可以肯定前方存在交叉路口.

在道路跟踪过程中, 所跟踪的路段也有可能是盲路(见图 6), 图 6 两种情形分别可以用如下方法判断: (1) 道路的左、右两轮廓都跟踪完了(见图 6(a)); (2) 道路跟踪到某一处, 前方存在障碍, 左、右轮廓汇合(见图 6(b)).

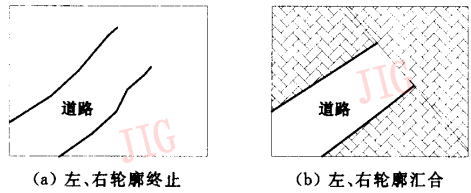


图 6 道路轮廓跟踪终止准则 2

3 有模板道路跟踪算法

3.1 单条道路模板跟踪算法

上述道路轮廓的跟踪可以采用有模板的跟踪算法, 也可以采用无模板的跟踪算法. 从原理上讲, 如果矢量图精度很高, 不存在断裂畸变或多余的线段, 那么这两种算法在跟踪同一条道路对应的两边轮廓时, 在性能上没有太大的区别, 但是如果矢量曲线上存在较多高频噪声的话, 那么采用空间窗的搜索算法将可以较好地抑制高频噪声.

其中有模板跟踪法又可以分为采用矩形空间窗(图 7(a))或者圆形空间窗(图 7(b))的方法. 由于矩形空间窗由直线构成, 它与其他实体求交较容易, 因此应用更为广泛.

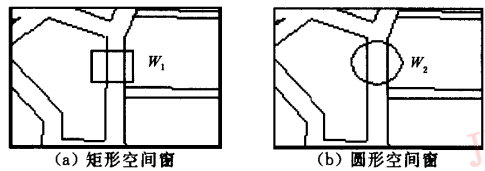


图 7 两种不同的跟踪窗

本文采用双矩形辅助模板来进行道路两侧轮廓的跟踪. 假设道路宽度为 L , 垂直于路心线方向上的

长度则可以取为 $2L$ (或更大, 但是不宜太大, 否则求交算法次数增加), 道路轮廓跟踪前, 首先应以平行于路心线方向边长为 R (R 为最小拐弯半径) 的矩形作为模板, 用以消除噪声; 同时用另外一个模板 (该模板平行于路心线方向的边长为 L_0 , 其 L_0 的大小定义见第 2 节) 来判断前方是否存在交叉路口。

单条道路模板跟踪算法表述如下:

(1) 通过初始种子点, 用扫描线法或最近距离法 (见 1.2 节和 1.3 节) 来得到道路的两条初始轮廓线;

(2) 由初始轮廓可得到两个完全相反的跟踪方向, 然后确定一个方向作为起始跟踪方向 (如图 7(a) 所示的初始方向设定为向上);

(3) 以起始种子点为起始位置, 通过放置道路轮廓跟踪窗 (图 8(a)) 和路口检测跟踪窗 (见图 8(b)(c)) 来判断道路轮廓线是否已被跟踪, 如果道路轮廓线已被跟踪, 则结束当前道路段的处理, 否则执行步骤 4。



图 8 道路轮廓矩形窗口探测

(4) 以 L_0 为步长移动路口检测跟踪窗, 同时使道路两侧轮廓生长, 直至和路口检测跟踪窗相交, 如果两侧都只经过一次生长就和路口检测跟踪窗相交, 那么就采用下文的生长准则来移动道路轮廓跟踪窗, 并生成相应的路心线; 如果经过若干次生长后才和当前路口检测跟踪窗相交, 则将最后的两条生长轮廓倒退, 并连接倒退回的两点和各自一侧的当前跟踪起始位置, 再利用前文所述方法来生成路心线。

(5) 判断当前位置是否存在道路交叉口或者已是道路的盲端 (见图 5、图 6)。如果符合条件, 则终止当前方向道路的跟踪, 并重新设定道路跟踪方向 (与当前方向相反) 返回步骤 3; 否则利用轮廓跟踪窗内的两条道路轮廓进行中心线生成, 然后将道路轮廓跟踪窗平移到当前位置, 返回步骤 4, 继续道路跟踪。

图 9(a)、(b) 分别是含和不含噪声的道路轮廓, 如图 9(a) 所示, P_1, Q_1 为上次道路左右轮廓的两个终止点, P_1P_2 和 Q_1Q_2 为两条直线段, 可以用如下准则来实现道路轮廓的生长:

(1) 如果 $P_1Q_2 = \min(P_1Q_2, P_2Q_1, P_2Q_2)$, 则下次放置跟踪窗时, 以 P_1Q_2 为基准, 同时可以将 P_1Q_2 的中点添加到与路心线对应的点序列中去;

(2) 如果 $P_2Q_1 = \min(P_1Q_2, P_2Q_1, P_2Q_2)$, 则下次放置跟踪窗时, 以 P_2Q_1 为基准, 同时可以将 P_1Q_2 的中点添加到与路心线对应的点序列中去;

(3) 如果 $P_2Q_2 = \min(P_1Q_2, P_2Q_1, P_2Q_2)$, 则下次放置跟踪窗时, 以 P_2Q_2 为基准, 同时可以将 P_1Q_2 的中点添加到与路心线对应的点序列中去。

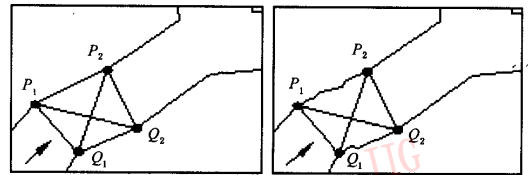


图 9 道路轮廓的生长

3.2 道路网络跟踪算法

为了得到数字地图中与所有的道路轮廓对应的路心线, 可以用道路追踪算法遍历整个道路网络, 定义如下数据结构:

```
struct CTraceLine
```

```
{
```

```
    CpolyLine  $p_{l_1}$ ; //多义线
```

```
    CpolyLine  $p_{l_2}$ ; //多义线
```

```
    BOOL bTraced; //本多义线是否被跟踪过
```

```
    CcenterLine *  $p_{Cl}$ ; //对应的路心线指针
```

```
};
```

```
class CRoadOutlineList; //表, 存储道路实体
```

上述数据结构中, p_{l_1} 和 p_{l_2} 为多义线型变量, 用于存储道路内外轮廓线实体的几何位置, BOOL 型变量 bTraced 表示本道路实体是否曾被跟踪过, 而 p_{Cl} 则纪录与本对轮廓线对应的道路路心线. 道路网络跟踪采用右轮廓优先深度跟踪算法, 其具体步骤可参阅文献[7]或者其他有关文献。

4 结论

实验结果表明, 本文提出的道路路心线自动生成算法, 不仅可以很好地自动生成目前市场上只有在道路轮廓线的电子地图的路心线, 它还可大大减少传统方法中人为误差的引入. 在算法中, 由于采用了双矩形模板跟踪窗特殊算法和道路轮廓生长准则, 从而有效地克服了电子地图在矢量化过程中所

引入的白噪声误差。

实验研究证明,本算法可以快速、精确而又稳健地获得道路路心线,并可大大地简化车载电子地图的制作,具有广泛的应用价值。

参 考 文 献

- 1 Fischler M A, Tenenbaum J M, Wolf H C. Detection of Roads and Linear Structures in Low Resolution Aerial Imagery [J]. Computer Vision Global Image Processing, 1981, 11 (3): 201~223.
- 2 Ton J, Wisen J C. Automatic Road Identification and Labeling in Landsat 4TM Images [J]. Photogrammetria, 1989, 43 (2): 257~276.
- 3 曹五丰, 秦其明. 基于知识的卫星数字图象公路信息提取[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 34[百年校庆纪念专刊]: 254~263.
- 4 唐泽圣等. 三维数据场可视化[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- 5 Baruch O. Line thinning by line following [J]. Pattern Recognition Letters, 1988, 8(3): 271~276.
- 6 Lam L, Lee S W, Suen C Y. Thinning methodologies — a comprehensive survey[J]. IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1992, 14(9): 869~885.
- 7 张小园. 电子地图道路网络模型及其自动生成算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6A(5): 481~485.



朱庄生 1972 年生, 1996 年获黑龙江商学院学士学位, 2001 年获东南大学硕士学位, 现为东南大学仪器系博士研究生, 研究方向为车载 GIS 理论及应用。



王庆 1962 年生, 教授, 博士生导师, 东南大学仪器系, 研究方向为 GPS 理论及应用。



万德钧 1932 年生, 教授, 博士生导师, 东南大学仪器系, 研究方向为导航和测控技术。

海信“闪电”图形工作站落户芜湖奇瑞

2003 年 2 月, 上汽奇瑞汽车有限公司批量引进海信“闪电”图形工作站用于新车型开发。经过三个月的应用, 奇瑞公司对海信“闪电”图形工作站的性能和可靠性非常满意。双方达成长期合作的意向。

上汽集团奇瑞汽车有限公司地处安徽芜湖, 是新一代中国汽车工业的精英。经过对海信“闪电”图形工作站进行严格的测试审核后, 奇瑞公司对“闪电”图形工作站的产品性能及海信的服务给予了高度的评价, 并于 2003 年 2 月签订了“闪电”图形工作站采购合同。

汽车行业市场一直是海信的重要阵地, 现已拥有包括汽车厂商及零部件生产厂商在内的 200 多家客户, 其中一汽集团、北汽福田、东南汽车、猎豹汽车、济南重汽、三一重工、马鞍山星马汽车等大型汽车制造厂商已成为海信良好的长久合作伙伴。此次与上汽集团奇瑞汽车有限公司的携手, 进一步扩大了海信在汽车行业的市场份额, 也是对海信“闪电”图形工作站优良产品质量与服务的证明。

CAD/CAM/CAE 技术在国内应用已见深入, 并取得了明显的效果。上汽集团奇瑞汽车有限公司注重 CAD/CAM/CAE 技术的应用, 不断开发拥有自己知识产权的产品和加快产品的更新换代, 因此赢得蒸蒸日上的大好局面。海信作为图形工作站生产厂商必须为 CAD/CAM/CAE 技术的不断发展与应用推广承担起责任, 由于与国际著名软件厂商紧密合作, 从而为企业提供了良好的解决方案和专业的产品与周到的服务。