

红外成像目标跟踪的 MHT 改进算法 及其 DSP 硬件实现

赵 峰 吴常泳 李范鸣

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要 探讨了改进的 MHT(多假设跟踪)算法及其在红外成像跟踪系统中的应用。根据红外目标及背景的特点,对红外图像数据进行自适应的空间滤波预处理后,运用改进的 MHT 算法实施目标识别和航迹跟踪处理。并利用 4 片 TMS320C6000 系列 DSP 组成流水线处理结构,实现了该算法的硬件并行处理,取得了良好的实用效果。

关键词 多假设跟踪, TMS320C6000, 流水线式处理, 目标跟踪。

A PROGRESSED MHT ALGORITHM FOR INFRARED TARGET TRACKING AND THE HARDWARE ARCHITECTURE ON DSP

ZHAO Feng WU Chang-Yong LI Fan-Ming

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract An improved multiple hypothesis tracking (MHT) algorithm and its application in infrared target tracking systems are presented. According to the characteristic of infrared target, the system firstly employs adaptive spatial preprocessing, then takes advantage of the improved MHT algorithm to recognize and track target. The pipeline hardware architecture is constructed based on 4 DSPs to implement the algorithm and acquires excellent result.

Key words MHT, TMS320C6000, pipeline, object tracking.

引言

D. B. Reid 率先提出了用于跟踪红外成像目标的 MHT(多假设跟踪)算法^[1],该算法将生成多种假设的航迹,并计算每一种假设的先验概率,删除低概率的假设,最终形成测量点与航迹的正确对应关系。从理论上说, MHT 算法是解决复杂背景下跟踪多个目标问题的最有前景方法之一^[1],但是, MHT 算法所产生的假设的数目与航迹数目、测量数据以及所处理的图像帧数呈指数关系,计算开销很大,不易于硬件实时处理。为此,国内外不少学者针对 MHT 提出了多种改进算法,休斯公司提出了结构化分支多假设跟踪的 SB/MHT 算法,与 MHT 算法相比, SB/MHT 在假设产生之前,就利用 SPRT(序列几率比)对所有可能的航迹进行测试,删除由虚警组成的航迹,从而大大降低了计算量。从减少测量数据和潜在航迹的思路出发,本文对 MHT 算法进行了新的改

进和简化;并采用 4 片高速 DSP 为处理核心,构造了一种流水线式的操作结构,具体实现了该算法的计算。在红外跟踪系统的实际应用中取得了良好的效果。

1 SB/MHT 算法原理与数据流程

MHT 是一种高杂波背景下跟踪多个目标的有效算法。但计算量大,不易于实时处理, SB/MHT 算法在对标准 MHT 算法进行改进后,大大降低了计算量,下面给出 SB/MHT 算法的处理过程,如图 1 所示。从滤波预测模块开始,简要地描述一下 SB/MHT 的算法流程^[2]。它采用标准卡尔曼滤波器进行状态估计和预测;得到航迹的预测位置后,与测量数据进行数据关联,这里有两点需要注意,一个是关联门限的产生,一个是规定合理的关联规则;接下来刷新所有可能航迹的初始置信度,并规定一个航迹确认门限和航迹删除门限,删除初始置信度过低的

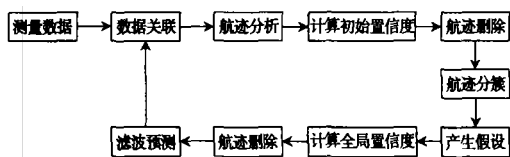


图1 SB/MHT算法的处理流程

Fig. 1 The processing architecture of SB/MHT

航迹,将超过确认门限的航迹带入航迹聚类的运算,这样,只有有限的航迹参加了聚类运算,这正是SB/MHT有别于标准MHT的关键所在。下面,根据航迹的关系将航迹分为不同的簇;在各簇内依据内部一致性原则,即不同的航迹不可以共享同一个测量点,生成各种假设,即各种可能的相容航迹组合;并计算各假设的假设置信度,然后结合各航迹的初始置信度,求取各航迹的全局置信度,全局置信度只用于删除航迹,并不保存用于后续帧的计算。

2 改进算法流程和硬件处理结构

下面从红外探测器采集到图像开始,按照处理的先后顺序,逐步阐述数据处理的流程,最后,总结出改进之后的MHT算法和基于4片TMS320C6201的硬件结构。

2.1 基于自适应灰度阈值的图像分割和中值滤波

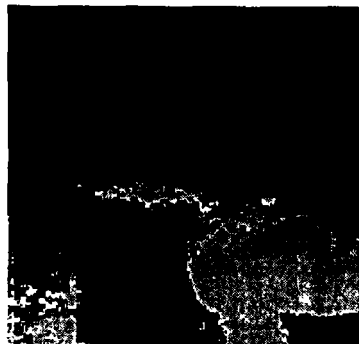
探测器得到的红外灰度图像经过12bitA/D转换并经FPGA非均匀校正后,通过高可靠性的系统总线(VME总线)进入第一块DSP,在这里完成空间滤波,提取潜在的目标,它的处理效果直接关系到MHT的速度和可靠性。一般的计算灰度阈值的方法是取图像直方图的分割阈值,由于我们的探测器的灰度分辨率是12bit的,即有4096个灰度级别,用这种方法的计算量较大。由于4个处理器组成一个闭环的处理结构,可以利用后续处理中的灰度信息。这里将第 k 帧得到的各潜在目标的灰度均值减去一个适当的偏移量作为灰度阈值 T 对第 $k+1$ 帧的图像进行分割,低于阈值的象素灰度清0,超过阈值的象素保留灰度。图2中的(a)为原始图像,(b)为分割后的图像,在潜在目标周围存在很多的分割碎块,如果它们都作为潜在目标进入SB/MHT算法的处理流程,不仅使计算量大为增加,而且跟踪的精度也将大受影响。对(b)进行中值滤波处理后的结果如(c)所示,这样,就明显地改善了预处理的效果。

2.2 利用平方预测器进行位置预测

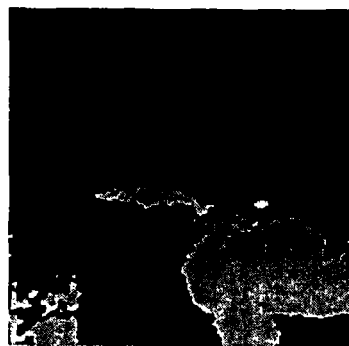
预处理之后的图像通过FIFO(先进先出存储器)进入第二块DSP,计算各潜在目标块的质心位置



(a)



(b)



(c)

图2 红外原始图像和预处理后的图像(a)红外原始图像(b)分割后的图像(c)中值滤波后的图像

Fig. 2 Original infrared image and preprocessed result (a)original infrared image (b)segmented result (c)result by median filter

和平均灰度;利用平方预测器进行位置预测^[3]。设 $f(t)$ 可以用

$$f(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2, \quad (1)$$

作为最佳逼近,且原函数 $f(t)$ 在 N 个顺序时刻的测量值为 $f(t_i)$ ($i=1, 2, \dots, N$)。

测量值与逼近值之间的误差为

$$\Delta \varepsilon_i = f(t_i) - b_0 - b_1 t_i - b_2 t_i^2, \quad (2)$$

对 N 点估计的均方误差为

$$E(\Delta \varepsilon_i^2) = \sum_{i=1}^N [f(t_i) - b_0 - b_1 t_i - b_2 t_i^2]^2, \quad (3)$$

取最佳逼近情况, 即经最小二乘运算后可得

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{|A|} \begin{bmatrix} c_{11} \sum_{i=1}^N f(t_i) + c_{21} \sum_{i=1}^N f(t_i) t_i + c_{31} \sum_{i=1}^N f(t_i) t_i^2 \\ c_{12} \sum_{i=1}^N f(t_i) + c_{22} \sum_{i=1}^N f(t_i) t_i + c_{32} \sum_{i=1}^N f(t_i) t_i^2 \\ c_{13} \sum_{i=1}^N f(t_i) + c_{23} \sum_{i=1}^N f(t_i) t_i + c_{33} \sum_{i=1}^N f(t_i) t_i^2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式(4)中

$$A = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N t_i & \sum_{i=1}^N t_i^2 \\ \sum_{i=1}^N t_i & \sum_{i=1}^N t_i^2 & \sum_{i=1}^N t_i^3 \\ \sum_{i=1}^N t_i^2 & \sum_{i=1}^N t_i^3 & \sum_{i=1}^N t_i^4 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$c_{jk} (j, k=1, 2, 3)$ 是行列式 $|A|$ 的余因子. 式(1)便是 $f(t)$ 在最小均方差意义下的 N 点最佳平方逼近的通解.

取 $N=3$, 可以求出平方预测器的表示式

$$\hat{f}(k+1/k) = 3f(k) - 3f(k-1) + f(k-2). \quad (6)$$

2.3 数据关联和置信度计算规则

产生假设前的处理在第三块 DSP 中完成, 它包括数据关联、产生新航迹、航迹分支和计算初始置信度及基于初始置信度的航迹删除. 由于预测方法的不同, 关联阈值和关联距离及初始置信度的计算方法也发生了相应的改变. 在这里直接以预测值与测量值之间的距离作为关联距离; 初始置信度根据航迹刷新与否进行简单的递加和递减.

2.4 假设删除和基于全局置信度的航迹删除

考虑到系统小视场的特点, 在经过有效的预处理后, 引入的杂波密度不高, 所以取消航迹的聚类操作. 在生成假设之后, 计算每种假设的假设置信度, 假设置信度 P_H 就是该假设 H 中的所有航迹 T 的初始置信度 P_R 的和, 航迹的全局置信度 P_G 根据式(7)计算

$$P_G(T_i) = P_R \times \left(\frac{\sum_{\text{all } H_k: T_i \in H_k} P_H(H_k)}{\sum_{\text{all } H_k} P_H(H_k)} \right). \quad (7)$$

根据假设置信度, 先删除假设置信度过低的假

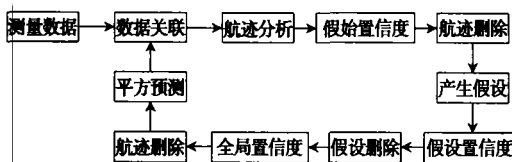


图3 改进之后的 MHT 算法处理流程图

Fig. 3 The processing architecture of progressed MHT algorithm

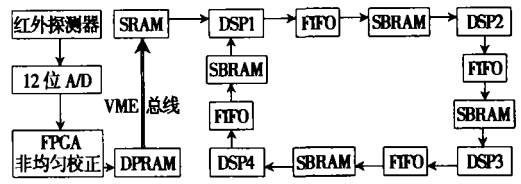


图4 基于4片DSP的硬件结构框图

Fig. 4 The hardware structure base on 4 DSP

设, 这将显著地减少计算量; 然后计算全局置信度, 删除全局置信度过低的航迹. 这些处理在第四块 DSP 中进行.

最后, 给出如图3所示的处理流程图.

2.5 基于四片 TMS320C6201 的硬件处理结构

TMS320C6201 的主频高达 200MHz, 内含 8 个

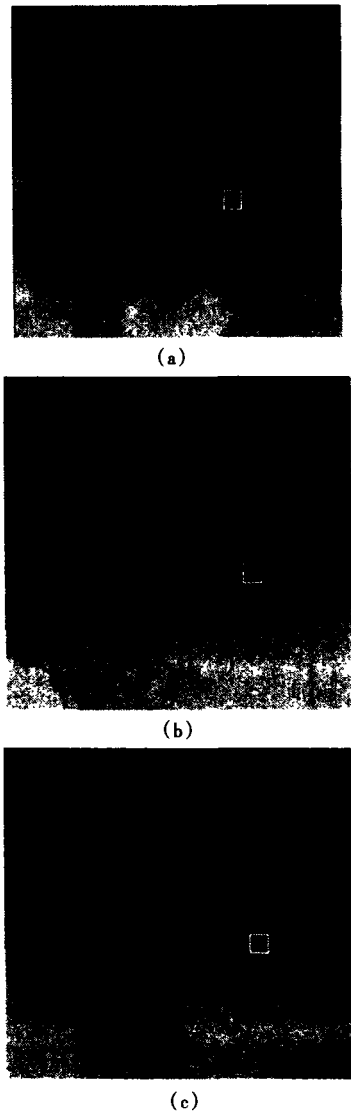


图5 红外目标的跟踪结果

Fig. 5 Infrared object tracking result

处理单元,可并行处理 8 条 32bit 指令,并通过软件流水解决了取指令和取数据的瓶颈问题,其处理能力达到 1600MIPS. 以 4 片该型处理器为核心,设计合理的外围电路,与红外成像探测器一起组成一套红外成像跟踪系统. 系统结构如图 4 所示.

其主要特点是,帧频高:50 帧/s,视场小: $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. 高帧频降低了对航迹预测的要求,可以使用精度略低而计算量远小于卡尔曼滤波的线性或平方预测方法;小视场提供了高分辨率,保证了实施 MHT 算法的前提假设:不同的航迹不会共享同一个测量点,即内部一致性原则,同时也减少了引入的杂波并降低了杂波密度.

3 实验结果

利用仿真器进行实时性分析,改进的算法处理流程在 DSP 硬件上可以达到 50 帧/s 的处理速度,系统反应时间为 200ms. 在实验室条件下和外场实验中,均能实时、准确的跟踪目标. 图 5 给出了 3 幅较为复杂背景下的红外目标的跟踪结果,白框为跟踪波门,可以看出在这 3 种情况下都能稳定的跟踪目标.

4 结语

本文提出了一种改进的 MHT 算法,该算法主要是在 SB/MHT 算法的基础上进行改进,简化运算,提高处理速度. 并设计了基于多片高速 DSP 的硬件结构来实现它,取得了良好的效果. 其系统构成的主要特点为高帧频、小视场、快反应、精跟踪.

REFERENCES

- [1] Werthmann J R. A step-by-step description of a computationally efficient version of multiple hypothesis tracking. *SPIE*, 1992, **1698**: 289—230
- [2] David S K Chan, Daniel D Harrison, David A. Langan Tracking in a high clutter environment: simulation results characterizing a bi-level MHT algorithm. *SPIE*, 1993, **1954**: 540—551
- [3] YANG Yi-He, ZHOU Wei-Zhen. *Introduction of Imaging and Tracking Technique*. Xi'an: Xidian University Press (杨宜禾,周维真. 成像跟踪技术导论. 西安:西安电子科技大学出版社), 1991: 149—154
- [4] CUI Chun-Ming, WANG Tian-Guan, ZHOU Qi-Bo. Implementation of the IR image track system with COTS multiprocessors. *Journal of Infrared and Millimeter Waves* (崔春明,王天冠,周起勃. 用 COTS 多处理机实现红外成像跟踪设备. 红外与毫米波学报), 2002, **21**(4): 261—265