

基于前推回推法的配电潮流并行计算方法

刘洋¹, 白泰¹, 陈曦²

(1. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072; 2. 成都电业局新津供电局, 四川 成都 611430)

摘要:提出了一种基于前推回推法的配电潮流并行计算方法。针对辐射配电网的树状特性, 将分支馈线进行分级, 并运用分布式系统的子集调度进程分配, 将各级馈线分配到多个处理单元上并行地进行前推回推运算。本算法为加速配电潮流的在线计算提供了一种方法和思路。文章着重阐述该算法的并行机理和实现过程。

关键词:配电潮流; 前推回推运算; 子集调度; 并行计算

Abstract: A parallel algorithm for distribution power flow is presented which is based on forward/backward sweep approach. This algorithm can be applied to radial distribution systems, where feeders and laterals grouped are allocated to processors so that the parallel computation of multi-feeders can be achieved. The implemental mechanism and process of the method are given in the following.

Key words: distribution power flow; forward/back sweep; subset scheduling; parallel computation

中图分类号: TM713 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)01-0030-04

近几年, 随着配电系统自动化在国内外的广泛兴起, 对低压配电网的研究开始增多, 作为配电管理系统 DMS 的基础配电网潮流计算的收敛性和计算速度问题也越来越引起重视。1988 年, D. Shirmohammadi 等人首次提出的前推回推法^[1]及其各种变型^[2~4]是配电潮流计算的有效算法。因为不涉及矩阵运算, 它具有编程简单、数值稳定性好等优点。且有文献对该算法的收敛机理进行了理论研究^[5], 证明了其良好的收敛性。

下面提出了一种使用多处理器的配网潮流并行算法。该算法将一个具体的辐射状配电网等构成可用多处理器进行处理的树状结构, 并运用分布式系统环境下的成熟的子集调度进程分配算法, 将多级馈线的辐射状配电网的潮流计算分解为多个可并行执行的子计算, 可将它们同时分派到各个处理单元上去执行。由于缺乏向量机和并行处理机的硬件支持, 无法在实际硬件上进行该算法的仿真, 所以这里着重阐明该算法的并行机理和实现过程。但相信随着多 Transputer 并行计算机在国内电力工业中的逐渐使用, 该算法是有良好的应用前景的。

1 配电潮流前推回推法

首先考虑仅有一条主馈线的简单配电网(关联电容等对地支路统一考虑成恒阻抗负荷)。图 1 所示系统具有 n 条支路, $n+1$ 个节点。 V_0 为变电站低压母线电压值(设为常数), $Z_i = R_i + jX_i$ 为线路串联阻

抗。 $S_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li}$ 为负荷功率, 对馈线上的每条支路均有:

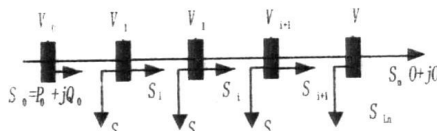


图 1 单馈线配电网

$$P_i = P_{i+1} + P_{Li+1} + \frac{(P_{i+1} + P_{Li+1})^2 + (Q_{i+1} + Q_{Li+1})^2}{V_{i+1}^2} \cdot R_{i+1} \quad (1)$$

$$Q_i = Q_{i+1} + Q_{Li+1} + \frac{(P_{i+1} + P_{Li+1})^2 + (Q_{i+1} + Q_{Li+1})^2}{V_{i+1}^2} \cdot X_{i+1} \quad (2)$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(R_{i+1}P_i + X_{i+1}Q_i) + \frac{(R_{i+1}^2 + X_{i+1}^2)(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} \quad (3)$$

式中: P_i 、 Q_i 表示由节点 i 和节点 $i+1$ 连接的支路 $i+1$ 的送电端的有功和无功功率值, V_i 为节点 i 处的电压。节点 i 和节点 $i+1$ 分别按功率流向互为父子节点。对上述支路流动方程的一般形式可写为:

$$P_i = F_P(P_{i+1}, Q_{i+1}, V_{i+1}^2) \quad (4)$$

$$Q_i = F_Q(P_{i+1}, Q_{i+1}, V_{i+1}^2) \quad (5)$$

$$V_{i+1}^2 = F_V(P_i, Q_i, V_i^2) \quad (6)$$

上述方程且有两个临界条件:

$$V_0 = \bar{V}$$

$$P_n=0, Q_n=0$$

方程(4)、(5)、(6)表明,在已知受端功率和电压的情况下,可推算出送端功率值(前推运算),在已知送端电压和功率的情况下可推算出受端电压值(回推运算)。

具有多级馈线的辐射状网络,要进行单馈线的前推回推运算,还涉及到一个馈线分级的问题。一般主馈线的选法是选包含的节点为最多的馈线为主馈线。但考虑到本算法的并行性,应选择包含分支馈线尽可能多的馈线作为主馈线。定义主馈线为一级馈线,二级馈线即为主馈线的分支馈线,即以主馈线节点作为根节点的馈线。同理,三级馈线即为二级馈线的分支馈线,以此类推。至此,单级馈线的前推回推法可以在多级馈线配电网各级馈线上分别运用。次级馈线的根节点功率值即作为对应上一级馈线节点的相应功率值处理。通过以上的馈线分级容易查觉到:处在同一级的多条馈线可以分别独立地进行前推回推计算,而且每条分支馈线的计算只与上下两级相邻馈线发生关系。这是一个重要的可以利用的特点。

对于一般的配电网,其潮流的前推回推算算法的迭代格式:

①初始化:给定主馈线根节点电压 V_0 ,并为其它节点电压赋初值 $V(0)$, $K=0$ 。

②从最低级的分支馈线的末端节点出发,先子节点后父节点,用式(4)和(5),通过前推计算,由节点电压分布 $V(K)$ 求支路功率分布。

③从根节点出发,先父节点后子节点,用式(6),通过回推计算,由支路功率分布求节点电压分布 $V(K+1)$ 。

④判断相邻两次迭代电压差的模分量的最大值 $\max|\Delta V|$ 是否小于给定的收敛指标 ϵ 。若是,则停止计算,否则, $K=K+1$ 转步骤②。

2 子集调度进程分配算法

在分布式并行系统环境下,往往将一个大的应用程序分解为多个可并行执行的子进程,进程的分配将关系到程序的吞吐量、资源的利用率。通常进程分配的目标如下:

(1)增强进程执行的并行性,以提高程序的加速比 S_p ,它可以表示为:

$$S_p = \frac{T_s}{T_p}$$

T_s 是使用单个处理器完成该程序所需的时间; T_p 是指系统中有 P 个处理器并行执行时,完成同一程序所需的时间。

(2)均衡各处理器上的负载,以改善资源利用,特别提高处理器的利用率 U_p ,它可表示为:

$$U_p = \frac{S_p}{P} = \frac{T_s}{T_p \times P}$$

(3)减少处理器之间的通信量,以降低通信开销。

假设一个程序具有多个子进程,可将这些进程划分为 N 个子集。子集可分为 n 层,最终进程占据第一层(最底层),可在最终进程执行前的一个单位时间内执行的那些进程占据第二层;类似地,可在第二层进程执行前的一个单位时间内执行的那些进程占据第三层;初始进程占据第 n 层(最高层)。在进行进程分配时,首行调度最高层子集进程,然后是次高级子集进程,当一个子集中有一个进程时,可从低一级子集中上调一个进程,只要不违背先后执行的偏序关系,且每一个子集都能被进行最佳调度,这便形成了子集调度算法。

3 配网潮流的并行算法

基于前面对前推回推法和子集调度算法的描述,提出了配网潮流的并行算法。该算法将配电网的各级馈线分配到不同的子集中去。例如:在作前推运算时,主馈线作为最终进程被分配到最底层子集,最低级的分子馈线作为初始进程被分配到最高层子集中。而在作回推运算时,主馈线作为初始进程被分配到最高层子集,最低级的分子馈线作为最终进程被分配到最底层子集中。各子集中的进程,可以并行执行,各子集间的执行顺序应满足子集的偏序关系。

图2为所设计的一个多馈线配电网络图,包括所选主馈线在内共有13条馈线,为了简化调度算法的说明,这里假设子集中的每个进程都具有相同的重量,即各条馈线具有相同的处理时间。

13条馈线一共被分为4个子集,即在进程图(根据不同进程的偏序关系推出的前趋图)共有4层,如图3所示,则其前推运算子集调度序列应为:

$$FSS = (\{T_{13}\} \{T_9 T_{10} T_{11} T_{12}\} \{T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8\} \{T_1\})$$

而回推运算符集调度序列则为:

$$BSS = (\{T1\} \{T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8\} \{T9 T10 T11 T12\} \{T13\})$$

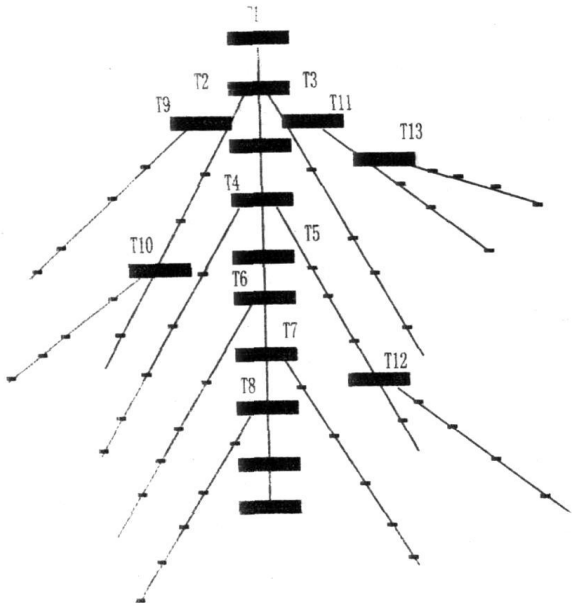


图2 多馈线配电网络

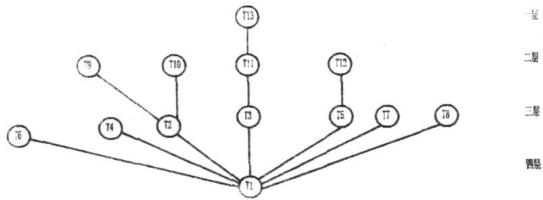


图3 进程前趋图

对于2个处理器的并行系统而言,可得表1所示调度表(前推运算时),由表可得出: $T_P=7, T_S=13$ 。

$$S_P = \frac{T_S}{T_P} = \frac{13}{7} = 1.837$$

$$U_P = \frac{T_S}{T_P \times P} = \frac{13}{7 \times 2} = 0.929$$

对具有3个处理器的并行系统,则可得如表2所示的调度表(前推运算时),由表可得出: $T_P=5; T_S=13$ 。

$$S_P = \frac{T_S}{T_P} = \frac{13}{5} = 2.6$$

$$U_P = \frac{T_S}{T_P \times P} = \frac{13}{5 \times 3} = 0.8667$$

可见,对这一多馈线配电网络当使用双处理器并

行处理时,可比使用单处理器处理时,提高计算速1.857倍,且每个处理器的利用率为92.9%,而三处理器并行处理时,可提高速度2.6倍,单个处理器的利用率为86.67%。

表1 双处理器调度表

处理器	馈 线						
P1	T9	T10	T2	T3	T7	T6	
P2	T13	T11	T12	T5	T4	T8	T1

表2 三处理器调度表

处理器	馈 线				
P1	T13	T11	T3	T4	T1
P2	T9	T2	T7	T6	
P3	T10	T12	T5	T8	

图4给出了配电潮流并行算法的流程图。

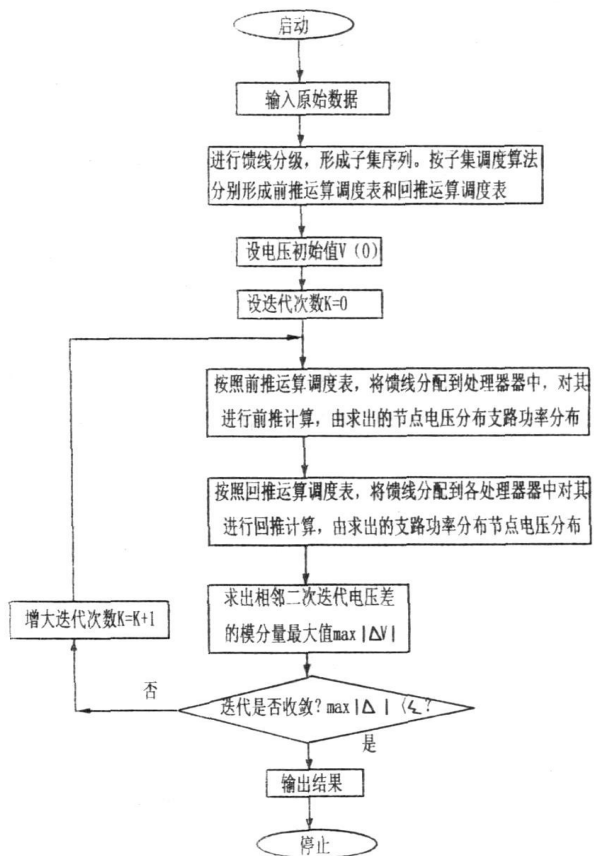


图4 并行算法流程图

4 结论

以上给出了一种基于前推回推法的配电潮流并行算法,将一个具体的辐射状配电网络等构成可用多处理器进行处理的树状结构,并运用分布式系统环境下的子集调度进行分配算法,将多级馈线的辐射状配电网络的潮流计算分解为多个可并行执行子计算。随着多Transputer并行计算机在国内电力工业中的逐渐使用,相信该快速配电潮流的并行算法在配电器对系统DMS上将有良好的应用前景。

参考文献

[1] D. Shiomohammadi. A Compensation-based Power Flow

Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(2): 753—762.

[2] Lin C E, Huang Y U, Huang C L. Distribution System Power Flow Calculation with Micro computer implementation. Electrical Power Systems Research, 1987(13): 139—145.

[3] Godesmi S K, Basu S K. Direct Solution of Load Flow Techniques for Distribution System Voltages Stability Analysis. IEEE Proceedings 1991, 138(6): 78—88.

[4] Liu Haijun, Yu David, Chiang Hsiao-Dong. Approach For Probabilistic Distribution Power Flow. Proceedings of the American Power Conference 62, 2000: 249—254.

[5] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 26—29.

(收稿日期: 2007—10—15)

(上接第9页) 发电机组的发电次序和发电时间。对能耗低、排放少、成本低的机组,按照机组申报的发电能力,优先调度上网发电。如果排序在前机组的发电能力已充分发挥,电网负荷还需要,再依次考虑能耗等指标较差的其他机组上网发电。

3.3 技术经济指标

合理改进发电调度方式主要表现为:(1)电价定价原则的合理调整;(2)发电计划的合理安排。改变调度方式的过程实际上是利益的再分配过程,合理的调度方式的出台,有利于电力公司在遵循节能原则的情况下利益的最大化。

3.4 拟采取的研究方法和技术路线

类似于现代经济调度程序,节能调度程序同样应严格遵循实用的要求,具体包括三方面:①计算可靠性;②计算结果准确性;③计算方便性。

将整个调度系统分为日调度、月调度及年调度三个模块。各部分有各自的不同功能,完成不同的任务。

针对水火风电系统调度,日计划中应具备以下几方面的程序:

①各种算法和各种周期的负荷预测;②机组最优组合;③常规潮流计算;④网损修正计算(直接法B系数);⑤水火风电节能调度(根据不同的要求,应用各种优化算法);⑥联合电力系统节能调度;⑦带安全约束的经济负荷分配;⑧最优潮流。

其中,第2部分机组的最优组合,应根据以节能降耗为原则排列出的机组发电优先顺序,通过科学的

比较进行组合。第5部分水火风电节能调度,应从节能的目标出发,列出最优目标函数,通过可靠的优化算法进行优化,得出各机组的出力情况。

4 结束语

实施节能调度,事关中国“十一五”规划节能目标实现的全局,与电力行业健康发展密切相关。随着一系列相关政策的落实,电力行业优胜劣汰的局面将加速出现,先进大机组的投资价值也将得到更大程度的提高,必将促使整个电力行业向更加和谐、稳定的方向发展。

参考文献

[1] 环保总局·电监会·能源办节能发电调度办法(试行)发展改革委·

[2] 沙亦强·节能减排:电力主旋律2007[J].中国电力企业管理,2007,(2):14—15.

[3] 米建行·节能调度:如何解铃是关键[J].中国电力企业管理,2007,(3):8—10.

[4] 白建华,张风营·调度:电力工业降耗的一个突破口[J]. STATE GRID, 2006,(9):83—85.

作者简介:

廖萍(1982—)女,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制。

李兴源(1945—)男,教授,博士生导师,中国电机工程学会理事,IEEE高级会员,从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作。(收稿日期:2007—12—11)