

# 并行计算 II 2023 春季第一次作业 OpenMP 优化

## Bellman-Ford 算法

刘翠玉

### 1 Bellman-Ford 算法

Bellman-Ford 算法 [BR58, For56] 是由 Richard Bellman 和 Lester Ford 提出的，一种用于计算带权图中单源最短路径的算法。与 Dijkstra 算法不同，Bellman-Ford 算法能处理边权为负的一般情况。

对给定的带权有向图  $G = (V, E)$ ，其中  $V$  是顶点集， $E$  是边集，其源点为  $s$ ，加权函数  $w$  是边集  $E$  的映射。对图  $G$  运行 Bellman-Ford 算法的结果是一个布尔值，表明图中是否存在一个从源点  $s$  可达的负权环，若不存在这样的环，算法将给出从源点  $s$  到图  $G$  的任意顶点  $v$  的最短路径  $d[v]$ 。Bellman-Ford 算法基于动态规划的思想进行设计，它的原理是对图进行  $V - 1$  次松弛操作，得到所有可能的最短路径，算法的优势之一在于不同顶点的计算相互独立，适合于并行。具体算法如下：

---

**Algorithm 1** Bellman-Ford algorithm

---

**Input:** Graph  $G = (V, E)$ , source  $s$  and weight matrix  $w$ .

Initialize distance  $d[i] = +\infty$  if  $i \neq s$  else  $d[i] = 0$ ;

**for**  $i = 1$  to  $V - 1$  **do**

**for each**  $(u, v) \in E$  **do**

**if**  $d[u] + w[u, v] < d[v]$  **then**

$d[v] = d[u] + w[u, v]$ ;

**end if**

**end for**

**end for**

**for each**  $(u, v) \in E$  **do**

**if**  $d[v] > d[u] + w[u, v]$  **then**

        return FALSE;

**end if**

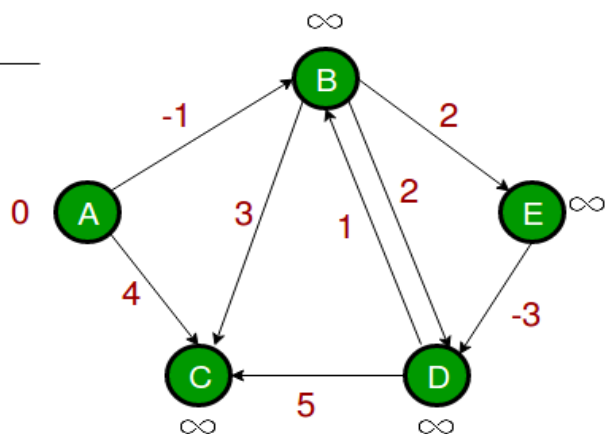
**end for**

return  $d$ ;

---

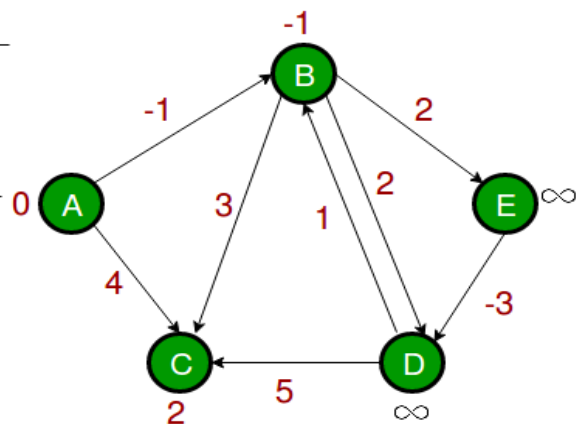
例如，有向图  $G$  包含 5 个顶点和 8 条边，源点为  $A$ ，Bellman-Ford 算法在该图上的运行过程如图1所示。

A	B	C	D	E
0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$



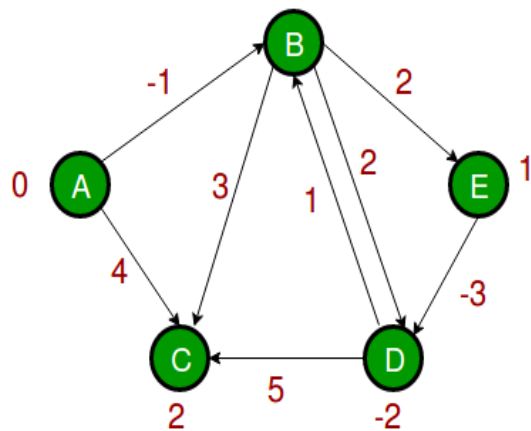
(a)

A	B	C	D	E
0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
0	-1	$\infty$	$\infty$	$\infty$
0	-1	4	$\infty$	$\infty$
0	-1	2	$\infty$	$\infty$



(b)

A	B	C	D	E
0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
0	-1	$\infty$	$\infty$	$\infty$
0	-1	4	$\infty$	$\infty$
0	-1	2	$\infty$	$\infty$
0	-1	2	$\infty$	1
0	-1	2	1	1
0	-1	2	-2	1



(c)

Figure 1: Bellman-Ford 算法运行示例.

## 2 作业要求

根据附件中给定的 Bellman-Ford 串行算法实现 (serial.cpp), 使用 OpenMP 进行优化。具体要求如下:

- 输入图文件为 input1.txt 和 input2.txt, 代码需在两个算例下运行通过;
- 可改变图的存储方式 (串行程序中使用邻接矩阵), 此部分无需进入耗时;
- 基于数院集群, 最多使用 1 个节点, 不限制 OpenMP 开启的线程数目;
- 不限制编程语言、编译选项和编译器版本 (推荐 C/C++ 实现);
- 提交完整的并行程序代码, 要求程序中包括 OpenMP 并行代码/计时模块/正确性验证, 提供与非优化版本的性能加速比较和分析;
- 提交报告中要求说明线程数目, 划分方法以及每个线程的任务负载;
- 鼓励报告中提供分阶段优化或者多版本优化的分析和比较。

## 3 提交要求和评分标准

- **提交:** 将代码和文档打包后发邮件至: [parcoii2023@163.com](mailto:parcoii2023@163.com), 邮件主题为“学号-第 X 次作业”, 在 6 月 14 日 24 点前提交, 可更新结果至多 3 次。
- **评分:** (1) 基本要求: 基于串行实现完成 Bellman-Ford 的 OpenMP 并行程序, 代码运行通过, 在报告中给出并行划分方法、运行时间和正确性验证; (2) 分析对比优化前后, 哪些策略带来了明显性能收益, 代码实际加速效果越好分数越高; (3) 其他加分项: 根据文档内容丰富程度、代码质量酌情加分。

## References

- [BR58] Bellman and Richard. On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, 16(1):87–90, 1958.
- [For56] L. R. Ford. *Network Flow Theory*. RAND Corporation, Santa Monica, CA, 1956.