网络中λ阶短路径的构造原则及算法

A Constructive Principle and Algorithm of λ Level Short Path in Network

周 勤[1],周炳生[2]
ZHOU Qin[1],ZHOU Bing-sheng[2]

(1.金陵科技学院图书馆,江苏南京 210009;2.南京大学信息管理系,江苏南京 210008)
(1. Library,Jinling Institute of Technology,Nanjing,Jiangsu,210009,China;2. Department of Information Management,Nanjing University,Nanjing,Jiangsu,210008,China)

摘要:分析由延长而产生的前导和后继路径阶的生成关系,获得λ阶短路径的构造原则,然后根据构造原则,修改最短路径D(Dijkstre)算法,提出λ阶短路径D算法,并用算例验证算法的可行性.

关键词:短路径 最短路径 原则 算法
中图法分类号:O158 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-7378(2008)03-0243-05

Abstract:By analyzing the generative relation of leader path and successor path,the constructive principle of λ level short path is obtained. Then according to the constructive principle, the shortest path D algorithm(Dijkstre algorithm) is modified and D algorithm of λ level short path is propose. Finally,samples was used to prove the feasibility of algorithm.

Key words:short path,shortest path,principle,algorithm.

在实际生活中有些求解最优的问题,可以转化为网络中最短路径问题,而要想得到最优的第一方案,较优的第二方案,…,第λ方案就需要λ阶短路径算法.本文先分析由延长而产生的前导和后继路径阶的生成关系,由此获得λ阶短路径的构造原则,从而修改最短路径D(Dijkstre)算法,得到λ阶短路径D算法.

1 预备知识

网络$G(n,m)$中点的集合记为$V=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$,边的集合记为$E=\{(x_1,x_2),\cdots\}$,结点个数$n=|V|$,边的余数记为$m=|E|$.若边(x_i,x_j)记为(x_ix_j),那么对权$W(x_ix_j)$,有$W(x_ix_j)>0$,x_i称为x_j的前导结点,x_j称为x_i的后继结点.与结点x_i相邻的所有结点的集合,称为结点x_i的相邻结点集,记为$\Gamma(x_i)$.以x_i为始结点,x_j为终结点的路径$(x_i\cdots x_j)$,记为$P(x_i\cdot x_j)$.$P(x_i\cdot x_j)$的权记为$W(P(x_i\cdot x_j))$.$P(x_i\cdot x_j)/\omega$表示权为ω的路径$P(x_i\cdot x_j)$.当$x_j\in\Gamma(x_k)$时,路径$P(x_i\cdot x_k x_j)$是路径$P(x_i\cdot x_k)$经边$(x_k x_j)$延长到x_j而形成的[1~6],记$P(x_i\cdot x_k x_j)=P(x_i\cdot x_k)\odot(x_k x_j)$,其中$\odot$为延长符号.

定义1 当结点$x_h\in\Gamma(x_k)$时,$P(x_i\cdot x_k x_h)=P(x_i\cdot x_k)\odot(x_k x_h)$,称路径$P(x_i\cdot x_k)$为$P(x_i\cdot x_k x_h)$的前导路径.如果延长后$P(x_i\cdot x_k x_h)$为路径、回路、通路,称$P(x_i\cdot x_k x_h)$分别为路径$P(x_i\cdot x_k)$的后继路径、后继回路、后继通路.$P(x_i\cdot x_k x_h)$未具体指明的便默认为是路径.

定义2 在网络中,所有以x_i为始点,x_j为终点的路径$P(x_i\cdot x_j)$,按其权值从小到大排序,其序号λ称为该路径的阶λ,该路径称为x_i到x_j的λ阶短路径,记为$p^\lambda(x_i\cdot x_j)$.

规定:$\lambda=0$时,$P^\lambda(x_i\cdot x_j)$为x_i到x_i的路径,$W(x_ix_i)=0$;$\lambda=1$时,$P^\lambda(x_i\cdot x_j)$为最短路径;$\lambda=2$,$P^\lambda(x_i\cdot x_j)$为次短路径,依此类推.

定义3 除x_i和x_j外,如果x_k为路径$P(x_i\cdot x_j)$中的点,称x_k为$P(x_i\cdot x_j)$的中间结点.具有中间结点x_k的路径$P(x_i\cdot x_j)$,记为$P(x_i\cdot x_j)x_k$.若x_k不为路径$P(x_i\cdot x_j)$的中间结点,路径$P(x_i\cdot x_j)$记为$P(x_i\cdot x_j)x_k'$.

收稿日期:2007-12-06
作者简介:周 勤(1970-),女,副研究馆员,主要从事信息学研究.

对于路径 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 和后继路径 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$，当路径 $P^{\delta}(x_i \cdot x_h x_h)$ 长度为1时，即 $P^{\delta}(x_i . x_k x_h) \in E$，其前导路径为点 x_i，则 $\gamma = 0$. 而 $\delta > 0$，即 $\delta > \gamma$.

令 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$ 的1到 δ 阶的所有路径 $P(x_i \cdot x_h)$ 的集合为 $P = \{P^t(x_i \cdot x_h) | t = 1 \text{到} \delta\}$. P 中的所有路径分为由 x_k 和不为 x_k 延长而成的路径. 令 P 中 x_h 的前导结点为 x_k 的所有路径的集合为 $P_1 = \{P(x_i \cdot x_k x_h) | P(x_i \cdot x_k x_h) \in P, x_h \in \Gamma(x_k)\}$；$x_h$ 的前导结点不为 x_k 的所有路径的集合为 $P_2 = \{P(x_i \cdot x_m x_h) | P(x_i \cdot x_m x_h) \in P, x_h \in \Gamma(x_m), x_m \neq x_k\}$；前导路径 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 的1到 γ 阶的所有路径 $P(x_i \cdot x_k)$ 的集合为 $L = \{P^d(x_i \cdot x_k) | d = 1 \text{到} \gamma\}$. L 中的所有路径分为包含 x_h 和不包含 x_h 两种. 又令 L 中 x_h 不为中间结点的所有路径的集合为 $L_1 = \{P(x_i \cdot x_k)x_h' | P(x_i \cdot x_k) \in L, x_h \in \Gamma(x_k)\}$；$x_h$ 为中间结点的所有路径的集合为 $L_2 = \{P(x_i \cdot x_k)x_h | P(x_i \cdot x_k) \in L, x_h \in \Gamma(x_k)\}$.

再设 $WL = \{W(P(x_i \cdot x_k)) | P(x_i \cdot x_k) \in L\}$,

$WL_1 = \{W(P(x_i \cdot x_k)) | P(x_i \cdot x_k) \in L_1\}$,

$WL_2 = \{W(P(x_i . x_k)) | P(x_i \cdot x_k) \in L_2\}$,

$WP = \{W(P(x_i \cdot x_h)) | P(x_i \cdot x_h) \in P\}$,

$WP_1 = \{W(P(x_i \cdot x_h)) | P(x_i \cdot x_h) \in P_1\}$,

$WP_2 = \{W(P(x_i \cdot x_h)) | P(x_i \cdot x_h) \in P_2\}$.

定义4 设 $x_h \in \Gamma(x_k)$，对 $P^{\gamma}(x_i . x_k)$ 和 $P^{\delta}(x_i . x_k x_h)$，称 γ 为点 x_k 与 x_h 的前导路径阶，记为 $\gamma(x_k x_h)$. δ 为点 x_k 与 x_h 的后继路径阶，记为 $\delta(x_k x_h)$. 令 $\alpha(x_k x_h) = |WL_2 - WL_1|$，称 $\alpha(x_k x_h)$ 为点 x_k 与 x_h 的奇异前导阶. $\beta(x_k' x_h) = |WP_2 - WP_1|$，称 $\beta(x_k' x_h)$ 为点 x_k 与 x_h 的奇异后继阶. $\alpha(x_k x_h)$ 为1到 γ 阶的前导路径 $P(x_i \cdot x_k)$ 中，形成后继通路与后继路径的不同权值的权值个数. $\beta(x_k' x_h)$ 为1到 δ 阶的后继路径 $P(x_i \cdot x_h)$ 中，x_h 前导点为 x_k 与不为 x_k 的不同权值的权值个数.

命题1 在网络中，$x_h \in \Gamma(x_k)$，对路径 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 和路径 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$，则有 $\delta(x_k x_h) = \gamma(x_k x_h) + \beta(x_k' x_h) - \alpha(x_k x_h)$.

证明 因为 $x_h \in \Gamma(x_k)$，$P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h) \in P_1$，$P^{\gamma}(x_i \cdot x_k) \in L_1$，$P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h) = P^{\gamma}(x_i \cdot x_k) \odot (x_k x_h)$，$W(P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)) = W(P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)) + W(x_k x_h)$，所以 $P_1 \neq \varnothing$，$L_1 \neq \varnothing$.

那么 $|WP_1| \geqslant 1$，$|WL_1| \geqslant 1$.

令 $P(x_i \cdot x_k)_1, P(x_i \cdot x_k)_2 \in L_1$，如果 $W(P(x_i \cdot x_k)_1) \neq W(P(x_i \cdot x_k)_2)$，又因为 $W(P(x_i \cdot x_k x_h)_1) = W(P(x_i \cdot x_k)_1) + W(x_k x_h)$，$W(P(x_i \cdot x_k x_h)_2) = W(P(x_i \cdot x_k)_2) + W(x_k x_h)$，所以 $W(P(x_i \cdot x_k x_h)_1) \neq W(P(x_i \cdot x_k x_h)_2)$.

同理，如果 $W(P(x_i \cdot x_k)_1) = W(P(x_i \cdot x_k)_2)$，则 $W(P(x_i \cdot x_k x_h)_1) = W(P(x_i \cdot x_k x_h)_2)$.

因为 $P(x_i \cdot x_k x_h)_1, P(x_i \cdot x_k x_h)_2 \in P_1$，$x_h \in \Gamma(x_k)$，所以 $|WL_1| = |WP_1|$.

又因为 $\gamma(x_k x_h) = |WL| = |WL_1| + \alpha(x_k x_h)$，$\delta(x_k x_h) = |WP| = |WP_1| + \beta(x_k' x_h)$，所以 $\delta(x_k x_h) = \gamma(x_k x_h) + \beta(x_k' x_h) - \alpha(x_k x_h)$.

在明确表示路径的前导路径、后继路径时，若不会引起相邻结点 x_k 与 x_h 的误会，可以将 $\gamma(x_k x_h)$，$\alpha(x_k x_h)$，$\delta(x_k x_h)$，$\beta(x_k' x_h)$ 分别用 $\gamma, \alpha, \delta, \beta$ 表示.

定义5 如果 $x_h \in \Gamma(x_k)$，对路径 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 和路径 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$，有 $\gamma > \delta$，那么称 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 为 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$ 的逆阶路径. 简称 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 为逆阶路径.

如果 $x_h \in \Gamma(x_k)$，对路径 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 和路径 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$，当 $\alpha > \beta$ 时，$P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 为逆阶路径.

定义6 给定 λ 值，求解 $P^{\lambda}(x_i . x_j)$ 时，如果 $x_h \in \Gamma(x_k)$，对路径 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 和路径 $P^{\delta}(x_i \cdot x_k x_h)$，当 $\gamma > \lambda$，而 $\delta \leqslant \lambda$，则称 $P^{\gamma}(x_i \cdot x_k)$ 为 x_h 的 λ 阶逆路径. 否则，称为非 λ 阶逆路径.

对于给定的 λ 值，求解 $P^{\lambda}(x_i \cdot x_j)$ 时，如果所有路径均不为 λ 阶逆路径，则所有路径的阶均小于或等于 λ.

因为通过延长始点 x_i 到每个结点的路径，不可能按权值大小依次产生，即对每个结点而言，先产生的路径不一定是权值小的.

定义7 对给定的 λ 值，当非终结点 x_k 出现大于 λ 个不同权值的路径时，其中权值次序大于 λ 的路径有可能为 λ 阶逆路径，称为需判 λ 阶逆路径.

定义8 对给定 λ 值，在求解 $P^{\lambda}(x_i \cdot x_j)$ 的过程中，权值次序为 λ 的路径 $P(x_i \cdot x_j)$ 称为临时 λ 阶终路径. 其权值称为 x_j 的临时 λ 阶终权值，记为 $mw(x_j)$.

根据定义8，当到终结点 x_j 的路径有 λ 个不同权值 $w_1, w_2, \cdots, w_{\lambda}$ 时，令 $B = \{w_t | t = 1 \text{到} \lambda\}$，则 $mw(x_j) = \max B$. 而当终结点 x_j 再出现权值 w 的路径时，$mw(x_j)$ 应作相应处理：

(1) 当 $w > mw(x_j)$ 时，$mw(x_j)$ 不变，权值 w 的路径应丢弃.

(2) 当 $w \in B$ 时，$mw(x_j)$ 不变，权值 w 的路径应保留.

(3) 当 $w \notin B$ 且 $w < mw(x_j)$ 时,权值 w 的路径应保留,权值 $mw(x_j)$ 的临时λ阶终路径应丢弃,$B = \{\{B - \{mw(x_j)\}\} \cup \{w\}\}, mw(x_j) = \max B$.

因而,$mw(x_j)$ 每改变一次,$mw(x_j)$ 值变小一次. 在求始点 x_i 到终点 x_j 的 1 到 λ 阶的路径 $P(x_i \cdot x_j)$ 时,有些路径延长后,最后不能成为1到λ阶 $P(x_i \cdot x_j)$ 中路径,或形成的路径 $P(x_i \cdot x_j)$ 的阶 $> \lambda$. 随着 $G(n,m)$ 中结点数的增加,结点后继点增多,这样的路径会迅速增大,而增加路径处理量.

定义 9 对给定λ值,不能延长形成 x_i 到 x_j 的 1 到λ阶路径 $P(x_i \cdot x_j)$ 的路径,称为 $P(x_i \cdot x_j)$ 的无效路径. 否则,为有效路径.

因为任何后继路径的权值总是大于其前导路径的权值,故有:

(i) 当 x_i 到非终点 x_k 的路径权值 $\geq mw(x_j)$ 和 x_i 到终点 x_j 的路径权值 $> mw(x_j)$ 时,则这些路径为无效路径,称为一类无效路径,权值为无效值.

因为路径 $P(x_i \cdot x_j)$ 的延长,不能形成新路径 $P(x_i \cdot x_j)$,故有:

(ii) 路径 $P(x_i \cdot x_j)$ 延长形成的新路径为无效路径,称为二类无效路径,权值为无效值.

(iii) 如果 x_i 到非终点 x_k 的路径 $P(x_i \cdot x_k)$ 没有后继路径或后继路径均为无效路径,则 $P(x_i \cdot x_k)$ 为无效路径,称为三类无效路径,权值为无效值.

2 λ阶短径构造原则及算法

2.1 构造原则

对给定的λ值,求 x_i 到 x_j 的短路径 $P^\lambda(x_i \cdot x_j)$ 的算法,根据前面分析讨论可知:当 $\lambda = 1$,对 $x_h \in \Gamma(x_k)$,所有的路径 $P^\gamma(x_i \cdot x_k)$ 和路径 $P^\delta(x_i \cdot x_k x_h)$,因为 $\lambda = 1$,故 $\delta = 1$,所以 $\beta = 0$. 若 $\alpha \neq 0$,如 $\alpha = 1$,在路径 $P^1(x_i \cdot x_k)x_h$ 中,有 $P(x_i \cdot x_h)$ 权值 $< P^1(x_i \cdot x_k x_h)$ 权值,和 $P^1(x_i \cdot x_k x_h)$ 为 1 阶路径矛盾,故 $\alpha = 0$,有 $\gamma = 1$. 所以,用延长求 x_i 到 x_j 的最短路径的算法,应该有下列构造原则.

原则 a 从初始值开始处理的过程中,x_i 到每个点 x_k 的路径由权值最小的路径延长,形成较小权值的后继路径,直至到 x_j 的路径权值最小.

原则 b x_i 到每个点 x_k 用于处理的路径,只需保留1条较小权值的路径.

原则 c x_i 到每个点 x_k 不存在1阶逆路径.

原则 d 可以考虑无效路径判别.

不考虑原则 d 不影响结果的正确性.

任何λ阶短路径算法,当 $\lambda = 1$ 时,应该保证算法求最短路径的正确性. 而当 $\lambda > 1$ 时,在无λ阶逆路径时,$P^\lambda(x_i \cdot x_j)$ 是由阶 $\leq \lambda$ 的路径延长而成的,故上述最短路径构造原则可以修改为下列λ阶短路径算法的构造原则.

原则 1 根据给定的λ值,每次将所有未处理的路径,作为求下一阶路径的初始路径(初始值). 求每一阶的路径,均按 $\lambda = 1$ 的最短路径的算法处理,而依次求 1 阶,2 阶,…,λ阶的短路径.

原则 2 x_i 到每个点用于处理的路径,一般只需要保留前较小的λ个不同权值的路径.

原则 3 x_i 到每个非终点 x_k,当出现大于λ个不同权值的路径时,权值次序大于λ的路径为需判λ阶逆路径,对需判λ阶逆路径进行适当处理.

原则 4 对产生的每条路径,都考虑无效路径判别.

显然,原则 1 是基本的、最主要的,原则 2、原则 3、原则 4 是减少路径的保留和处理量.

原则 3 中提到的判别需判λ阶逆路径的方法有 3 种. 设 $x_h \in \Gamma(x_k)$,路径 $P(x_i \cdot x_k)t$ 为需判λ阶逆路径,后继路径为 $P(x_i \cdot x_k x_h)t$.

方法 1 计算 $\alpha\beta$ 法.

1) 为了准确计算 $\alpha\beta$,先将权值 $< w(P(x_i \cdot x_k)_t)$ 的未延长的路径延长.

2) 根据获得的包括二、三类无效路径在内的路径,计算 $P(x_i \cdot x_k)_t$ 和路径 $P(x_i \cdot x_k x_h)_t$ 的 $\alpha(x_k x_h)$, $\beta(x_k' x_h)$.

3) 如果 $\alpha(x_k x_h) > \beta(x_k' x_h)$,则 $P(x_i \cdot x_k)_t$ 为 x_h 的λ阶逆路径.

4) 在路径延长中,如果产生新的需判λ阶逆路径,应作同样处理. 因为 $G(n,m)$ 中路径数有限,经有限次延长处理后,直至不再有新需判λ阶逆路径为止,本次处理结束. 处理中除一类无效路径可丢弃外,其它无效路径不应丢弃.

方法 2 试探法.

因为需判λ阶逆路径可能是一、三类无效路径,可以先进行无效路径判别.

1) 在延长需判λ阶逆路径 $P(x_i \cdot x_k)_t$ 处理中,产生一、三类无效路径丢弃,不产生二类无效路径.

2) x_i 到每个点保留的路径暂时为有效路径,其中无效路径,以后被发现再丢弃.

3) 如果产生新的需判λ阶逆路径,应作同样的处理. 直至不再有新的需判λ阶逆路径时,本次处理结束.

方法 3 不理会法.

1) 需判 λ 阶逆路径 $P(x_i \cdot x_k)_t$ 不另外处理.

2) 产生一、三类无效路径丢弃,不产生二类无效路径.

对给定 λ 值,求 x_i 到 x_j 的 λ 阶短路径 $P^\lambda(x_i \cdot x_j)$ 中,需判 λ 阶逆路径出现多少和处理复杂程度,和网络 $G(n,m)$ 的拓扑结构、点 x_i、点 x_j 及给定 λ 值有关. 同一种需判 λ 阶逆路径处理方法,对有些问题处理时可能很复杂,另一些问题处理时可能很简单.

2.2 算法

λ 阶短路径 D 算法采用试探法处理需判 λ 阶逆路径,处理时如删除无效路径,处理结束后,剩下的路径为有效路径.

下面修改最短路径的 D 算法(Dijkstre 算法). D 算法的基本方法[3,4]是将 $G(n,m)$ 中,所有点给一个标志值,固定标志 P 值或临时标志 T 值. P 值表示始点到该点的最短路径权值,T 值表示始点到该点的 1 条较小的路径权值. 如果终点的 T 值变成 P 值,便获得始点到终点的最短路径权值,再由此权值求始点到终点的最短路径. 实际上,不需要一开始对所有点都给一个标志值,可以边处理边给值. 最短路径 D 算法的具体步骤参考文献[3,4].

为了便于求出路径的后继路径,将网络中,结点编序如 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 后,作表 E. 表 E 叫做 $G(n,m)$ 的权延长表(简称 E 表).

$$E = \begin{array}{c|c|} x_1 & \\ x_2 & \\ \vdots & e_{ij} \\ \vdots & \\ x_n & \end{array},$$

(↑ 前导结点列)

其中,

$$e_{ij} = \begin{cases} x_j / w(x_i x_j), \text{当 } x_i \neq x_j \text{ 且 } x_j \in \Gamma(x_i) \text{ 时}, \\ \text{空白,其它情况}. \end{cases}$$

通常,在 E 表的第 i 行中,会有 e_{ij} 为空白,可以省去,而同行后面的项向前移动而成简表,我们使用简表.

对于 λ 阶短路径 D 算法,因 $\lambda > 1$ 时,增加了一些需判别情况,故 λ 阶短路径 D 算法形式上复杂些. 在最短路径 D 算法中,因为每次只需将具有最小 T 值的一个点的 T 值改为 P 值,故每个点只有一次取为 P 值点的机会. 在 λ 阶短路径 D 算法中,用集合 A 表示在每阶选中的 T 值点,同时,会调用到以下延长处理方法.

2.2.1 延长处理方法

求权值 $P(x_k)$ 的路径的点 x_k 的所有后继点 x_h 的 $T(x_h)$.

(1) 令 $d = |\Gamma(x_k)|, f = 1$.

(2) 查权延长表 E,计算 $P(x_k)$ 的第 f 个后继点 x_h 的路径的 $T(x_h)$.

$$T(x_h) = \begin{cases} \text{空格,当 } P(x_i \cdot x_k x_h) \text{ 为回路或通路时,转(3)}. \\ P(x_k) + w(x_k x_h), \text{当 } P(x_i \cdot x_k x_h) \text{ 为路径时}. \end{cases}$$

1) 当 $x_h = x_j$ 且 $T(x_h) < mw(x_j)$, $T(xh) \notin B$ 时:

① 如果 $B = \varnothing$ 且 x_j 连同 $T(x_h)$ 一起具有 λ 个不同 T 值 $w_1, w_2, \cdots, w_\lambda$, 则 $B = \{w_t | t = 1 \text{ 到 } \lambda\}$, $mw(x_j) = \max B$.

② 如果 $B \neq \varnothing$,则新的 $B = \{\{B - \{mw(x_j)\}\} \cup \{T(x_h)\}\}, mw(x_j) = \max B$.

2) 当 $x_h \neq x_j$ 且 $T(x_h) < mw(x_j)$ 时,如果 x_h 连同 $T(x_h)$ 一起具有大于 λ 个不同 T 值,将其中次序大于 λ 的 $T(x_h)$ 值改为需判 λ 阶逆标志.

(3) 将终点 $x_j > mw(x_j)$ 和非终点 x_k 的 $\geqslant mw(x_j)$ 的 T 值,改为无效值(或删除).

(4) $f = f + 1$,如 $f \leqslant d$,转(2).

(5) 返回.

2.2.2 λ 阶短路径 D 算法

给定始点 x_i,终点 x_j,阶 λ 值,权延长表 E.

步骤 1:初始值:$T(x_i) = 0, mw(x_j) = \infty, A = \varnothing, B = \varnothing$.

步骤 2:取不属于 A 中的最小 T 值的点,设点为 x_k, T 值为 $T(x_k)$.

步骤 3:取点 x_k 的最小 T 值中之一的 $T(x_k)$ 改为 $P(x_k)$.

1) 如果 $x_k = x_j$,令 $A = \varnothing$,转步骤 6.

2) 调用延长处理方法,求权值改为 $P(x_k)$ 的路径的点 x_k 的所有后继点 x_h 的 $T(x_h)$.

3) 如果 $P(x_k)$ 的所有 $T(x_h)$ 为无效值或空白,则该 $P(x_k)$ 为无效值(或删除).

步骤 4:如果 $T(x_h)$ 中没有需判 λ 阶逆标志,转步骤 5.

1) 设点为 x_{k1},权值 $T(x_{k1})$ 改为 $P(x_{k1})$.

2) 调用延长处理方法,求权值 $P(x_{k1})$ 的路径的点 x_{k1} 的所有后继点 x_{h1} 的 $T(x_{h1})$.

3) 如果 $P(x_{k1})$ 的所有 $T(x_{h1})$ 为空白或无效值,则该 $P(x_{k1})$ 为无效值(或删除).

4) 如果 T 值中有需判 λ 阶逆标志,转 1).

步骤 5:对未处理无效路径的 P 值、T 值作无效标志(或删除).

步骤 6:点 x_k 有未处理最小 $T(x_k)$ 值,转步骤 3.

步骤 7:$A = A \cup \{x_k\}$. 如果有未处理 T 值,转步骤 2.

步骤 8:结束.

3　算例

求网络 $G(7,11)$ 的最短路径和次短路径.

$G(7,11)$ 中,$n = 7$,$\lambda = 2$,始点设为 x_1,终点设为 x_5(如图 1)

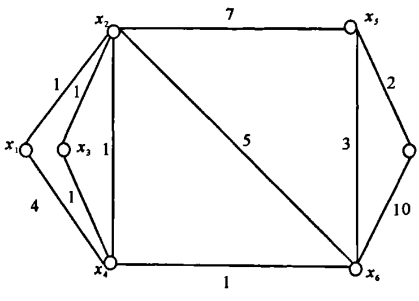

图 1　网络 G (7,11)

根据图 1,我们有相应的 E 表和 D 算法生成表(表 1).

$$E = \begin{array}{c|lllll|}
x_1 & x_2/1 & x_4/4 & & & \\
x_2 & x_1/1 & x_3/1 & x_4 & x_5/7 & x_6/5 \\
x_3 & x_2/1 & x_4/1 & & & \\
x_4 & x_1/4 & x_2/1 & x_3/1 & x_6/1 & \\
x_5 & x_2/7 & x_6/3 & x_7/2 & & \\
x_6 & x_2/5 & x_4/1 & x_5/3 & x_7/10 & \\
x_7 & x_5/2 & x_6/10 & & &
\end{array}.$$

表 1 左边为 P 值的前导路径和权值,右边为相应后继点的 T 值(后继路径权值). 空白表示相应点不为后继点或相应点的路径为通路、回路. “+” 表示 T 值为需判 λ 阶逆标志. “—” 表示 T 值为处理需判 λ 阶逆路径选中处理的标志. “×” 表示 T 值为无效值(或删除),对 P 值作无效值标志(或删除)时,表 1 中右边相应 T 值应同时作无效值标志(或删除). 从表 1 右边选中 T 值路径、权值立即填表中下行左边进行延长处理,左边 P 值的前导路径终点为每阶集合 A 中选中的 T 值点. 表 1 中右边 T 值用 ①, ②,… 表示,同一阶中选中的 T 值点,有相同的 ①, ② 标志.

表1　D 算法生成表

序号	前导路径	权值	后继路径终点和权值							
			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	注
1			$0^{\textcircled{1}}$							
2	x_1	0		$1^{\textcircled{1}}$		$4^{+}-\times$				a
3	x_1x_2	1			$2^{\textcircled{1}}$	$2^{\textcircled{1}}$	$8\times$	$6^{+}-\times$		
4	$x_1x_2x_3$	2				$3^{\textcircled{2}}$				b
	x_1x_4	$4^{+}\times$		$5^{\textcircled{2}}\times$	$5^{+}-\times$			$5^{+}\times$		
5	$x_1x_2x_4$	2			$3^{\textcircled{2}}\times$			$3^{\textcircled{1}}$		
	$x_1x_4x_3$	$5^{+}\times$		$6^{+}-\times$						
	$x_1x_2x_6$	$6^{+}\times$				$7^{+}-\times$	$9\times$		$16\times$	c
	$x_1x_4x_3x_2$	$6^{+}\times$					$13\times$	$11\times$		d
	$x_1x_2x_6x_4$	$7^{+}\times$			$8^{+}-\times$					
	$x_1x_2x_6x_4x_3$	$8^{+}\times$								
6	$x_1x_2x_4x_6$	3					$6^{\textcircled{1}}$	$13\times$		e
7	$x_1x_2x_4x_6x_5$	6								f
8	$x_1x_2x_3x_4$	3						$4^{\textcircled{2}}$		
	$x_1x_4x_6$	$5^{+}\times$		$10\times$			$8\times$		$15\times$	
9	$x_1x_2x_4x_3$	$3\times$								
10	$x_1x_2x_3x_4x_6$	4					$7^{\textcircled{2}}$		$13\times$	g
11	$x_1x_4x_2$	$5\times$			$6^{\textcircled{3}}-\times$		$12\times$	$10\times$		
12	$x_1x_2x_3x_4x_6x_5$	7								h
13	$x_1x_4x_2x_3$	$6\times$								

注:b. $T(x_4) = 4$:改为需判 2 阶逆标志并进行处理. c. $mw(x_5) = 9$. d. 因为 $mw(x_5) = 9$,所以 $T(x_5) = 13$,$T(x_6) = 11$ 为无效值,$P(x_2) = 6$,$T(x_2) = 6$ 为无效值,$P(x_3) = 5$,$T(x_3) = 5$ 为无效值. e. $mw(x_5) = 8$. f. $A = \varnothing$. g. $mw(x_5) = 7$. h. $A = \varnothing$. a. 最后有路径 $x_1x_4/4$ 对后继路径 $x_1x_4x_2/5$ 为 2 阶逆路径,对 $x_1x_4x_3/5$、$x_1x_4x_6/5$ 为非 2 阶逆路径. 另外如果计算 $\alpha\beta$,有 $\alpha(x_4x_2) = 2$,$\beta(x_4'x_2) = 1$,故 $x_1x_4/4$ 为 $x_1x_4x_2/5$ 的 2 阶逆路径. 路径 $x_1x_4/4$ 对后继路径 $x_1x_4x_3/5$、$x_1x_4x_6/5$ 有 $\alpha(x_4x_3) = 1$,$\beta(x_4'x_3) = 1$,$\alpha(x_4x_6) = 0$,$\beta(x_4'x_6) = 0$,故 $x_1x_4/4$ 为 $x_1x_4x_3/5$、$x_1x_4x_6/5$ 的非 2 阶逆路径,但路径 $x_1x_4/4$ 为无效路径.

(下转第253页)

3　系统特点

基于RFID的大型纸品仓库定位跟踪管理系统具有自动化程度高、功能完善、安全易用、易于扩展和数据共享等特点。

(1)自动化程度高。系统通过仓库内的RFID网络实现货物信息和叉车移动的信息自动采集,避免人为错误的产生,保证了生产信息的正确性。

(2)功能完善。系统面向实际需求,设计实现仓库的出入库管理、电子化快速盘点、叉车自动导向等功能,全面覆盖了仓库的各个生产流程。

(3)安全易用。客户端采用Web浏览器方式,界面人性化,操作简易。设计符合仓管人员原有的操作习惯,原有仓管人员无需重新培训即可使用,减少企业人力成本支出。

(4)易于扩展。系统采用模块化设计并预留接口,方便扩展到企业内部其他仓库以及异地仓库。

(5)数据共享。系统库存信息及定位信息实现共享,与原有的企业ERP系统无缝连接。

4　结束语

基于RFID室内定位技术的仓库定位跟踪管理系统在大型纸厂成品仓库的应用,不仅能够实现对出入库的自动化管理,更可实现对仓库内货物的实时跟踪和精确定位,给企业带来自动化、透明化、有序化的仓库管理,杜绝了人为差错,这对提升企业产品质量、企业形象以及市场竞争力起到了良好的推动作用。该系统已在某大型纸厂成品仓库进行试运行,运转情况良好。

参考文献:

[1]　孙瑜.射频识别(RFID)室内定位算法研究[D].成都:西南交通大学,2005.

(责任编辑:韦廷宗)

(上接第247页)

最后结果是,最短路径为序号7的路径$x_1x_2x_4x_6x_5/6$,次短路径为序号12的路径$x_1x_2x_3x_4x_6x_5/7$.

参考文献:

[1]　周炳生.网络中多始点与终点路径的延长算法[J].上海技术师范学院学报:自然科学版,1989(1):32-38.

[2]　周炳生,周勤.λ阶短哈密顿回路的最小权法[J].广西科学院学报,2005,21(2):67-70,75.

[3]　祝颂和,陆诗娣,陈建明.离散数学[M].西安:西安交通大学出版社,1996:224-228.

[4]　M N S Swamy,K Thulasiraman.图、网络与算法[M].左垲主,译.北京:高等教育出版社,1988:338-344.

[5]　徐洁磐,惠永涛.离散数学及其在计算机中的应用[M].修订版.北京:人民邮电出版社:147-153.

[6]　舒贤林,徐志才.图论基础及应用[M].北京:北京邮电学院出版社,1988:345-361.

(责任编辑:尹　闯)