

基于有效路径统计网络的群组命令传输模型

章 刚¹, 陈庆奎^{1,2}

(1. 上海理工大学管理学院, 上海 200093; 2. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘 要: Internet 在动态环境及资源有限条件下, 其尽力而为的服务模式在支持群组命令传输过程中, 容易产生路径过期无效及路径竞争问题. 对此, 定义出有效路径统计网络, 并提出基于有效路径统计网络的群组多约束多目标优化问题. 针对该问题, 提出基于有效路径统计网络的群组命令传输模型. 为解决路径无效过期, 该模型基于动态追逐解的思想提出基于动态环境下群体激励算法. 为解决路径竞争, 该模型分别从竞争选择策略以及避让选择策略两个角度分析了路径竞争问题. 最后, 本文分别证明模型的收敛性和有效性. 实验分别从响应延迟率及传输成功率等方面, 验证了该模型在支持群组命令传输的合理性.

关键词: 群组命令传输; 路径无效; 路径竞争; 群体激励算法

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)09-1826-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.09.022

Group Command Transmission Model Based on Effective Path Statistics Network

ZHANG Gang¹, CHEN Qing-kui^{1,2}

(1. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Internet with dynamic nature and limited resource for group command transmission produces path invalidation and path competition. This paper firstly proposes EPSN (Effective Path Statistics Network) based on Internet, and defines GMCMP (Group Multi-Constraints Multi-Objective Optimization Problem) based on the EPSN. Aiming at the problem, this paper puts forward to the model GCTM (Group Command Transmission Model based on EPSN). In view of avoiding path invalidation, GCTM defines group incentive algorithm based on dynamic environment according to chasing solution thought. In view of avoiding path competition, the model defines two tactics, one is competition selected tactic and the other is avoiding selected tactic. Finally, this paper proves the convergence and effectiveness of the model GCTM. The experiment verifies the reasonableness of the model from response delay rate and transmission success rate.

Key words: group command transmission; path invalidation; path competition; group incentive algorithm

1 引言

物联网从狭义上讲实现人与物、物与物互联; 从广义上讲实现信息空间和物理空间的融合. 其主要核心思想不仅可以“感知”而且期待“可控”. 物联网运营中心(中心)作为“可控”核心技术必将成为物联网未来研究热点^[1~3]. 中心主要功能是能够通过 Internet 传输一组具有多约束的命令到一组分布在不同大区域(跨省、市、区)的终端设备并对其监控, 且这组命令必须在约束条

件内全部到达, 部分命令丢失被视为传输失败. 由此可知, 物联网运营中心本质是基于 Internet 的群组命令传输(Group Communication Transmission, GCT)过程.

然而, Internet 尽力而为的服务模式在支持 GCT 传输过程中存在以下困难: (1) Internet 具有动态特性, 容易造成路径无效过期; (2) Internet 资源有限, 容易造成群组命令之间路径竞争.

当前, 物联网研究重点主要集中在“感知”部分^[4], 包括非确定性反碰撞算法 CTP^[5], 基于 Web 用户层 RFID

收稿日期: 2014-01-15; 修回日期: 2014-06-09; 责任编辑: 梅志强

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60970012); 高等学校博士学科点专项科研博导基金(No. 201113120110008); 上海教委创新重点项目(No. 13ZZ112); 上海市一流学科建设项目(No. XTKX2012); 上海市工程中心建设项目(No. GCZX14014); 上海重点科技攻关项目(No. 09511501000, No. 14511107902)

物品感知及识别系统^[6],物联网体系架构中数据安全^[7]等.而对于 GCT 方面研究成果较为罕见^[8].在 Internet 传输技术方面,单播传输^[9,10]主要解决单源-目的节点对的路由,面对 GCT 传输容易造成命令之间路径竞争.组播传输^[11,12]主要解决一对多通信且中间节点通过复制进行数据转发,而 GCT 中每个命令完成的操作不同,不支持复制传输.IPv6 组播是下一代 Internet 研究热点^[13],同样也不适合 GCT 传输.在 K-shortest 路径算法中,算法 KMCSF^[14]通过迭代删除不满足约束条件的路径,使用路径代价函数评估前 K 条最短路径.算法 KWABP^[15]通过定义路径操作以及修改后的二重扫描法计算 K 条最优路径.齐^[16]等人提出路由预计算 MKPPA 算法,并引入“警戒点”对 MKPPA 算法进行优化,根据警戒点的修正提出 M-MKPPA 预计算算法.以上 K-shortest 算法依然会产生路径无效过期及路径竞争问题.

因此,本文在 Internet 上部署一些通信服务代理 (Communication Service Agent, CSA),通过 CSA 构建中心所涉及 Internet 局部区域的骨架网络,也即有效路径统计网络 (Effective Path Statistics Network, EPSN),并基于该网络构建有效路径 EP (Effective Path, EP) 集,进而基于 EP 集支持 GCT 传输过程.

EPSN 网络构建意义在于:在 Internet 复杂环境下,挖掘出 Internet 上更多实时有效的“空隙”,利用这些“空隙”更好地进行 GCT 传输过程.

由于 GCT 中任意单一命令传输过程可以转换为多约束多目标优化问题 (Multi-Constraints Multi-Objective Optimization Problem, MCMOOP).那么,GCT 过程可以转换为群组多约束多目标优化问题 (Group Multi-Constraints Multi-Objective Optimization Problem, GMCMOOP).

综上,本文重点研究的问题是基于一组 EPSN 网络 GMCMOOP 问题.

2 问题描述

2.1 GMCMOOP 问题中路径无效性、路径竞争分析

2.1.1 路径无效性分析

由于 Internet 其复杂特性,造成路径上度量参数时刻动态变化.虽然理论上可以通过 EPSN 网络测量与统计路径上度量参数并构建 EP 集.但在测量与统计过程中,路径上度量参数依然在随时间变化而变化.从而,可能会造成路径无效过期问题.

2.1.2 路径竞争分析

通常,MCMOOP 问题的解为一组非劣有效路径集,则 GMCMOOP 问题的解为多组非劣有效路径集.在资源有限条件下,可能会使得多组非劣有效路径集之间产生交集,也即存在公共解.因此,容易造成有效路径竞争问题.

2.2 GMCMOOP 问题建模

基于一组 EPSN 网络 MCMOOP 问题:寻找一组非劣有效路径,在每个子函数满足约束条件下,使得当前 MCMOOP 目标函数最优(不失一般性,定义最大为最优):

$$\begin{aligned} \text{Max } f(\mathbf{x}) &= \{f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x})\} \quad (1) \\ \text{s.t. } &\begin{cases} f_j(\mathbf{x}) \leq C_j, j=1, 2, \dots \\ \mathbf{x} \in \text{EP} \\ \forall \mathbf{x} \in x(t) \end{cases} \end{aligned}$$

其中, \mathbf{x} 为解路径, $x(t)$ 为概率函数,EP 为测量与统计的有效路径集, f_j 为 MCMOOP 第 j 个子目标函数, C_j 为 f_j 约束值, f 为当前 MCMOOP 目标函数.

基于一组 EPSN 网络 GMCMOOP 问题:寻找多组不相交的非劣有效路径集 P_1, P_2, \dots, P_n ,在使得每个非劣有效路径集所对应的 MCMOOP 目标函数最优情况下,同时使得 GMCMOOP 目标函数最优:

$$\begin{aligned} F &= \{\text{Max } F_1, \text{Max } F_2, \dots, \text{Max } F_n\} \quad (2) \\ \text{s.t. } &\begin{cases} \forall i, j, P_i \cap P_j = \emptyset, i, j=1, 2, \dots \\ \forall i, j, P_i, P_j \subset \text{EP}, i, j=1, 2, \dots \end{cases} \end{aligned}$$

其中, P_i, P_j 分别为 F_i, F_j 对应的非劣有效路径集, F_i, F_j 分别为第 i 和第 j 个 MCMOOP 目标函数, F 为 GMCMOOP 目标函数.

综上分析,GMCMOOP 问题属于 NP 问题,本文提出一种启发式群组命令传输模型.

3 群组命令传输模型 (Group Command Transmission Model, GCTM)

本小节主要描述了模型解决路径无效过期及路径竞争的主要过程及思想,并且验证了其收敛性及有效性.

3.1 基于动态环境下群体激励算法 (Group Incentive Algorithm Based On Dynamic Environment, GIADe)

GIADe 思想:对于评估不好的个体,在下次迭代扩大其动态搜索范围;对于评估较好的个体,在下次迭代缩小其动态搜索范围,一直循环迭代.使得个体之间相互激励,最终达到共同进化.

3.1.1 参数设置

G : 群体总数量; Sub_G : 子群体数量; Sub_{id} : 子群体中个体数量; P_{id} : 个体符号; L_N : 局部迭代次数; T_N : 全局迭代次数,其中, $G = \text{Sub}_G \text{Sub}_{id}$.

3.1.2 个体追逐解策略

设 $X_{P_{id}}^{\text{present}}$ 为个体当前位置, $R_{P_{id}}$ 为当前个体搜索半径且 $R_{P_{id}} = \kappa G_{P_{id}}(L_N) / F(P_{id})$, $\kappa \in (0, 1)$ 为比例系数, $G_{P_{id}}(L_N)$ 为当前个体搜索控制函数,并且为严格单调递

减函数^[17],且满足当 $L_N \rightarrow V$ 时, V 为常数阈值, $G_{P_{id}}(L_N) = 0$. $F(P_{id})$ 为当前个体评估值, $S(P_{id})$ 为记录当前个体搜索到最优位置. 个体搜索过程是以 $X_{P_{id}}^{\text{present}}$ 为原点, $R_{P_{id}}$ 半径的范围内搜索. 同时解路径 x 也在动态变化,因此在个体追逐解时,可能存在以下两种可能:

个体搜索范围与解 x 动态变化范围相同,则个体 P_{id} 追逐解策略:

$$\begin{aligned} X_{P_{id}} &= \text{Ran}\{d(x_1), d(x_2), \dots, d(x_n)\} \\ S(P_{id}) &= \begin{cases} X_{P_{id}}; & \text{if } F(X_{P_{id}}) \geq F(S(P_{id})) \\ S(P_{id}); & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{s.t. } S(P_{id}) &\in (X_{P_{id}}^{\text{present}} - R_{P_{id}}, X_{P_{id}}^{\text{present}} + R_{P_{id}}) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, Ran 为随机函数, $d(x_j)$ 为解 x_j 迁移到解 x_j 的迁移函数.

个体搜索范围与解 x 动态变化范围不相同,意味着在个体搜索范围内存在多个解在变化,则个体 P_{id} 追逐解策略:

$$\begin{aligned} X_{P_{id}} &= \text{Max}\{(d(x_1), dp_1), (d(x_2), dp_2), \dots, (d(x_n), dp_n))\} \\ S(P_{id}) &= \begin{cases} X_{P_{id}}; & \text{if } F(X_{P_{id}}) \geq F(S(P_{id})) \\ S(P_{id}); & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{s.t. } S(P_{id}) &\in (X_{P_{id}}^{\text{present}} - R_{P_{id}}, X_{P_{id}}^{\text{present}} + R_{P_{id}}) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $(d(x_j), dp_j)$ 表示为解 x_j 根据迁移函数 $d(x_j)$ 迁移到下一个位置的概率为 dp_j .

3.1.3 个体 P_{id} 位置更新策略

假设 $X_{P_{id}}^{\text{new}}$ 为更新后个体 P_{id} 的位置, $L_{P_{id}}$ 为当前子群体局部最优值, $T_{P_{id}}$ 为全局最优值, ΔX 为偏移量, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \in (0, 1)$ 且分别为个体系数、子群体系数、全局系数,则:

$$\begin{aligned} \Delta X &= \lambda_1(S(P_{id}) - X_{P_{id}}^{\text{present}}) + \\ &\lambda_2(L_{P_{id}} - X_{P_{id}}^{\text{present}}) + \lambda_3(T_{P_{id}} - X_{P_{id}}^{\text{present}}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{cases} X_{P_{id}}^{\text{new}} = X_{P_{id}}^{\text{present}} + \Delta X; & \text{if } X_{P_{id}}^{\text{present}} \neq \Delta X \\ X_{P_{id}}^{\text{new}} = X_{P_{id}}^{\text{present}}; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

3.1.4 个体 P_{id} 获取规则

假设 random 为产生大于等于 0 的整数随机函数, $\text{Mod}(A, B)$ 为 A 对 B 求模, N 为优胜、中等或劣质组中个体数量(假设其数量都为 N),则:

$$P_{id} = \text{Mod}(\text{random} + 1, N) \quad (7)$$

3.1.5 淘汰函数

算法采用淘汰函数维护多目标优化解的多样性. 假设 $h(s_i)$ 为最优解 s_i 的淘汰函数, $\text{dis}(s_i, s_j)$ 为两个最优解 s_i 和 s_j 距离,则最优解 s_i 的淘汰函数 $h(s_i)$ 表示为:

$$h(s_i) = \frac{L}{\sum_{j=1}^{\text{number}} \text{dis}(s_i, s_j)} \quad (8)$$

其中, L, number 为常数. $h(s_i)$ 说明值越大,越容易被淘汰;值越小,越不容易淘汰.

3.1.6 GIADE 算法实现

GIADE 算法实现见算法 1.

算法 1 GIADE 算法

-
- Step1** 初始化当前 MCMOP 问题的解空间;
Step2 对当前 MCMOP 解空间,初始化一组群体 G ;
Step3 初始化评估函数 $F(P_{id})$, 局部最优值变量数组 L_{tmp} , 全局最优值变量数组 G_{tmp} ;
Step4 利用评估函数 $F(P_{id})$, 评估每个个体 P_{id} 值, 并把整个群体 G 中 P_{id} 的值, 按照优胜、中等及劣质分成 3 组;
Step5 分别从优胜、中等及劣质中按照个体 P_{id} 获取规则(式(7))取得 P_{id} (忽略重复取得可能), 共取 Sub_{id} 数量的 P_{id} 形成子群体, 最后组成 Sub_C 个子群体. 同时记录每个子群体最优值到 L_{tmp} , 以及当前全局最优值到 G_{tmp} , 同时 G_{tmp} 利用淘汰函数 $h(s_i)$ (式(8))更新;
Step6 判断每个子群体是否满足条件 L_N 或达到目标, 如果是, 进入 Step8; 否则进入 Step7;
Step7 个体 P_{id} 根据追逐解策略(式(3)和式(4))不断搜索当前所在区域, 并转入 Step6;
Step8 根据个体 P_{id} 位置更新策略公式(式(5)和式(6)), 更新每个个体 P_{id} 位置, 并转入 Step9;
Step9 判断整个算法是否满足条件 T_N 或达到目标, 如果是, 进入 Step10; 否则进入 Step4;
Step10 记录当前 MCMOP 问题中的非劣解集 G_{tmp} , 并退出;
-

3.2 控制命令竞争机制(Control Command Competition Mechanism, CCCM)

通常竞争分两种, 一种是具有相同需求的两对手对同一路径竞争; 另一种是需求不同的两对手对同一最优路径竞争. 针对第一种情况给出竞争选择策略, 针对第二种情况给出避让选择策略, 以下给出相关定义描述:

3.2.1 竞争度(Competition Degree, CD)

设 r_i, r_j 表示两竞争对手, r_j^k 表示对手 r_j 的第 k 个属性, $A(r_j^k)$ 表示对手 r_j 在属性 k 处函数, 则两对手 r_i, r_j 的竞争度 $\text{CD}(r_i, r_j)$:

$$\text{CD}(r_i, r_j) = \begin{cases} 0; & \text{if } r_i \cap r_j = \emptyset \\ \frac{1}{\sum_k (A(r_i^k) - A(r_j^k))}; & \\ \infty; & \text{if } r_i = r_j \end{cases} \quad (9)$$

3.2.2 竞争选择策略(Competition Selected Tactic, CST)

在相同需求条件下, 当竞争对手之间的竞争度越

大,说明两对手之间对路径竞争激烈,需要解决两对手对路径的竞争,则需要分别为每个竞争对手选择满足

$$\text{CST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) = \begin{cases} (p_i, p_j) \text{ or } (p_j, p_i); & \text{if } (\text{CD}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \rightarrow \infty \ \& \ \text{PSD}(p_i, p_j) \rightarrow 0) \\ (\text{Random}(p_i, p_j), \emptyset) \text{ or } (\emptyset, \text{Random}(p_i, p_j)); & \text{if } (\text{CD}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \rightarrow \infty \ \& \ \text{PSD}(p_i, p_j) \rightarrow \infty) \\ \left[\begin{cases} (p_i, p_j) \text{ or } (p_j, p_i); & \text{if } Q \leq qv \\ (\text{Random}(p_i, p_j), \emptyset) \text{ or } (\emptyset, \text{Random}(p_i, p_j)); & \text{if } Q > qv \end{cases} \right]; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

其中, $Q \in (0, 1)$ 表示常量, $qv \in (0, 1)$ 表示随机变量, Random 表示随机函数, p_i, p_j 分别表示满足 \mathbf{r}_i 与 \mathbf{r}_j 约束的路径, $\text{PSD}(p_i, p_j)$ 为路径相似度. 当竞争度越大, p_i, p_j 路径相似度越小, $\text{CST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 为 $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ 分配 p_i, p_j ; 当竞争度越大, p_i, p_j 路径相似度越大, $\text{CST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 只为 \mathbf{r}_i 或 \mathbf{r}_j 分配 p_i 或 p_j , 另一个选择放弃当前解. 剩余情况, 当 qv 大于 Q , $\text{CST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 只为 \mathbf{r}_i 或 \mathbf{r}_j 分配 p_i 或 p_j , 另一个选择放弃当前解. 否则, $\text{CST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 为 $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ 分配 p_i, p_j .

3.2.3 避让选择策略 (Avoid Selected Tactic, AST)

在需求不同条件下, 当两竞争对手不同时, 竞争对手之间的竞争度越小, 说明两对手之间对路径竞争可能性小, 但是每个竞争对手都在希望获取最优路径. 为了避免低的需求浪费高的路径, AST 思想是低资源路径分配低需求; 高资源路径分配高需求. 则:

$$\text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) = \begin{cases} (p_i, p_j); \\ \text{if } \left(\frac{Q(\mathbf{r}_i) > Q(\mathbf{r}_j) \ \& \ f(p_i) > f(p_j)}{Q(\mathbf{r}_i) < Q(\mathbf{r}_j) \ \& \ f(p_i) < f(p_j)} \right) \\ (p_j, p_i); \\ \text{if } \left(\frac{Q(\mathbf{r}_i) > Q(\mathbf{r}_j) \ \& \ f(p_i) < f(p_j)}{Q(\mathbf{r}_i) < Q(\mathbf{r}_j) \ \& \ f(p_i) > f(p_j)} \right) \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{AST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) = \begin{cases} \text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j); & \text{if } \text{PSD}(p_i, p_j) \rightarrow 0 \\ \text{Random}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j); & \text{if } \text{PSD}(p_i, p_j) \rightarrow \infty \\ (1 - \delta) \text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j); & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

其中, $\text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 表示如果 \mathbf{r}_i 的需求高则获取高资源的路径, 反之 \mathbf{r}_j 获取高资源的路径. p_i, p_j 分别表示满足 $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ 约束的路径, $\text{PSD}(p_i, p_j)$ 为路径相似度, $Q(\mathbf{r}_i)$ 、 $Q(\mathbf{r}_j)$ 分别表示对手约束值, $f(p_i)$ 、 $f(p_j)$ 分别表示路径函数值, Random 表示随机函数, $\text{AST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 说明路径相似度趋近于 0 时, 按照 $\text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 策略分配路径; 当路径相似度趋近无穷时两条路径重合, 不会按照 $\text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 策略选择, 而是随机挑选 \mathbf{r}_i 或 \mathbf{r}_j 获取当前路径; 剩余情况, 按照 $1 - \delta$, $\delta \in (0, 1)$ 概率选择 $\text{IAST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 策略.

3.2.4 CCCM 机制实现

CCCM 机制实现见算法 2.

算法 2 CCCM 算法

Step1 初始化一对资源路径 p_i 和 p_j , 以及一组竞争对手 $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$, 同时设定每个竞争对手属性函数 $A(r_j^k)$ 及 r_j^k ; 转入 Step2;

约束的路径:

Step2 利用式(9)计算竞争对手竞争度 $\text{CD}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$; 转入 Step3;

Step3 根据 $\text{CD}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 选择竞争选择策略 $\text{CST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 式(10)或避让选择策略 $\text{AST}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j)$ 式(11), 式(12)为竞争对手 $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ 分配资源; 转入 Step4;

Step4 保存当前结果并退出;

3.3 GCTM 模型实现

GCTM 模型实现见算法 3:

算法 3 GCTM 算法

Step1 分解 GMC MOOP 问题为一组带约束控制命令 $\text{Com} = \{\text{com}_1, \text{com}_2, \dots, \text{com}_{\text{NUM}}\}$, NUM 为群组大小, 并给定其相对应的约束条件, 转入 Step2;

Step2 对于任意 $j = 1 \rightarrow \text{NUM}$, com_j 利用 GIAD 算法(算法 1)获取 com_j 所对应的一组非劣解 S^{com_j} , 如果 $j = \text{NUM}$ 则转入 Step3; 否则转入 Step2;

Step3 循环 $j = 1 \rightarrow \text{NUM}$, $i = 1 \rightarrow \text{NUM}$, 转入 Step4;

Step4 利用 CCCM 机制(算法 2)分别对竞争对手分配资源路径, 转入 Step5;

Step5 i 是否满足条件, 如果是, 则转入 Step6; 否则转入 Step4;

Step6 j 是否满足条件, 如果是, 则退出, 其中 S^{com_j} 为 com_j 最终最优解; 否则转入 Step3;

3.4 GCTM 模型分析

3.4.1 收敛性分析

GCTM 模型中, GIAD 算法是 GCTM 核心, GIAD 收敛性好坏主要影响着 GCTM 收敛性, 因此只需要证明 GIAD 收敛性即可.

证明: 对每个 MCMOOP 问题而言, 在每一次迭代过程中, 对于每个个体 P_{id} , 都是在以 $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 为搜索半径的圆内搜索. 对评估函数 $F(P_{\text{id}})$ 而言, $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 与 $F(P_{\text{id}})$ 成反比, 意味着评估值 $F(P_{\text{id}})$ 越优, $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 越小, 假设存在 ϵ , $\epsilon > 0$, 当满足 $L_N \rightarrow V$ 时, $|F(P_{\text{id}}) - \mathbf{X}^*| \leq \epsilon$, 则停止搜索. 其中, \mathbf{X}^* 为全局最优解, V 为常数阈值, L_N 为迭代次数. 随着子群体中迭代次数越来越多时, 对于每个局部区域搜索更彻底, $F(P_{\text{id}})$ 无限趋近于全局最优解 \mathbf{X}^* , 因此 $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 趋近于 0, 意味着搜索半径为 0, 也就是说迭代完成; 对搜索控制函数 $G_{P_{\text{id}}}(L_N)$ 而言, $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 与 $G_{P_{\text{id}}}(L_N)$ 成正比, 意味着 $G_{P_{\text{id}}}(L_N)$ 越小, $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 越小. 由于 $G_{P_{\text{id}}}(L_N)$ 为严格单调递减函数, 且 $L_N \rightarrow V$ 时, $|F(P_{\text{id}}) - \mathbf{X}^*| \leq \epsilon$, 随着子群体中迭代次数越来越多并超过 V 时, 则 $G_{P_{\text{id}}}(L_N) \rightarrow 0$, 意味着 $\mathbf{R}_{P_{\text{id}}}$ 趋近于 0, 也就是说迭代完成.

则每个 MCMOOP 问题收敛,则 GMC MOOP 问题收敛,则 GIADE 算法收敛.则 GCTM 模型收敛.证毕.

3.4.2 有效性分析

对于 GCTM 模型而言, GIADE 主要解决 GMC MOOP 问题动态搜索解过程;同时 CCCM 主要解决 GMC MOOP 问题路径竞争过程.因此,需要从两方面分析其有效性.

证明:由于动态环境下,子群体中每个个体 P_{id} ,在搜索时总是追逐当前有效解.同时根据 GIADE 算法,对于每个子群体 Sub_G ,其负责对其子区域搜索,当其迭代次数 L_N 越来越大时,当前子区域必然能完全搜索而且能得到有效的非劣解.因而在局部迭代完成时,排序子群体中每个个体 P_{id} 搜索到的最优解,能得到当前子区域中局部最优解.当全局迭代完成后,再合并每个子群体的局部最优解,能得到全局最优解.因此,GCTM 对 GMC MOOP 问题可以得到有效解.另一方面,对于任意两个 MCMOOP 问题(对手),计算其竞争度,如果没有竞争或竞争小,根据 AST 策略,必然可以通过更新各自在动态环境下寻找到的一组非劣解,寻找到满足自身约束的有效解.所以,GCTM 必然有效;如果存在竞争大或完全竞争,根据 CST 策略,通过选择没有公共链路的解或随机相互放弃当前解,更新各自在动态环境下寻找到的一组非劣解,则更新后的解必然为有效解.所以,GCTM 必然有效.证毕.

4 实验与分析

实验硬件环境配置:15 台曙光服务器(CSA 节点).每台服务器配置为:CPU 为 AMD 皓龙 4122,内存 4GB,硬盘 300GB,操作系统为 SUSE Linux Enterprise Server 11.

参数设置: $G \in (20, 100)$, $Sub_G \in (5, 20)$, $V, L_N \in (70, 200)$, $T_N \in (100, 500)$, $Q \in (0.7, 1)$, $\kappa \in (0.5, 0.7)$, $G_{P_{id}}(L_N) = \rho(V - L_N)$, $\rho \in (0, 1)$.

网络拓扑结构:利用 Waxmam 模型^[18]随机生成网络拓扑结构.随机网络拓扑结构具有 15 节点以及 22 条链路,并在每条链路上产生 $n, n \geq 2$ 个度量参数,每条链路上度量参数值随机产生,同时每个度量参数的约束值随机产生,平均节点度大于 2 小于 7.

EPSN 网络构建:在物联网运营中心所涉及的 Internet 局部区域的通路上,基于部分知情部署思想,分别部署 15 个 CSA 节点(服务器),按照网络拓扑结构依次连通,从而组成 EPSN 网络环境,并在 EPSN 网络环境下配置 GCTM.

EP 集及群组命令规模:从测量与统计结果中随机选取出某段时间内的实验数据作为 EP 集.同时根据统计可知,群组命令规模平均最小和最大量分别为 90 和 190.

测试性能:

(1)验证 EPSN 网络规模不断变化下,运行 GCTM 及没有运行 GCTM 对系统的响应延迟率(Response Delay Rate, RDR)比较,并且 RDR 描述为: $RDR = \text{延迟响应时间} / \text{正常响应时间}$;

(2)验证 EPSN 网络规模不断变化下,GCTM 与当前一些经典算法之间的群组命令传输成功率(Transmission Success, TS)性能比较: $TS = \text{传输成功数} / \text{传输总数}$.

验证 1 在最小量 90 及最大量 190 情况下 RDR (%)

图 1 横坐标表示 EPSN 规模数,纵坐标表示 RDR. EPSN_GCTM 表示 EPSN 运行 GCTM, EPSN 表示 EPSN 没有运行 GCTM.当规模数为 4~8 时, EPSN 运行 GCTM 的响应延迟率接近 20%,没有运行 GCTM 的响应延迟率接近 29.7%,响应延迟率减少了 32.6%;当规模数为 12~15 时, EPSN 运行 GCTM 的响应延迟率接近 10.5%,没有运行 GCTM 的响应延迟率接近 17.7%,响应延迟率减少了 40.7%,总体平均减少 36.65%.

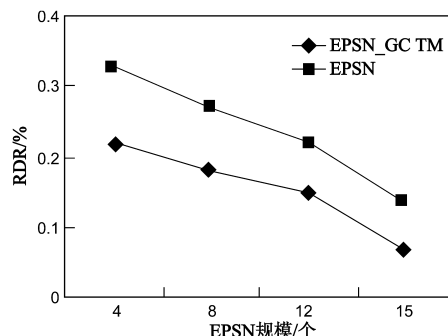


图 1 最小量90情况下Internet结构中RDR比较

图 2 横坐标表示 EPSN 规模数,纵坐标表示 RDR. EPSN_GCTM 表示 EPSN 运行 GCTM, EPSN 表示 EPSN 没有 GCTM.当规模数为 4~8 时, EPSN 运行 GCTM 的响应延迟率接近 31%,没有运行 GCTM 的响应延迟率接近 42.1%,响应延迟率减少了 26.3%;当规模数为 12~15 时, PMCS 运行 GCTM 的响应延迟率接近 16.7%,没有运行 GCTM 的响应延迟率接近 29.1%,响应延迟率减少了

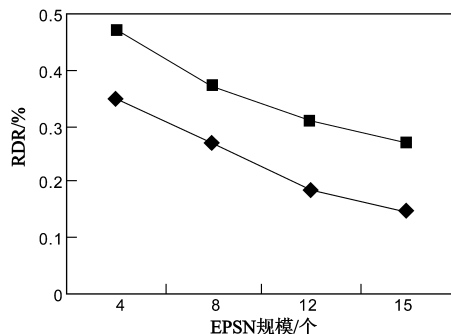


图 2 最大量190情况下Internet结构中RDR比较

42.6%, 总体平均减少 34.45%。

以上分析可以看出, GCTM 随着群组命令规模增大其性能会降低, 同时随着 EPSN 网络规模扩大会有效增加 GCTM 性能。

验证 2 在最小量 90 及最大量 190 情况下 TS(%)

图 3 横坐标 EPSN 规模数, 纵坐标表示传输成功率。当规模数为 4~8 时, GCTM 传输成功率平均接近 84.95%, KMCSPP 算法、KWABP 算法、M_MKPPA 算法传输成功率平均分别接近 81.65%、82.75%、81.05%, GCTM 平均传输成功率相对于其余三种算法分别提高了 4.04%、2.65%、4.81%; 当规模数为 12~15 时, GCTM 传输成功率平均接近 94.4%, KMCSPP 算法、KWABP 算法、M_MKPPA 算法传输成功率平均分别接近 88.85%、89.95%、90.5%, GCTM 平均传输成功率相对于其余三种算法分别提高了 6.24%、4.94%、4.3%。

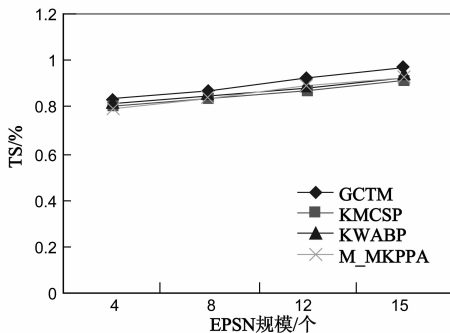


图3 Internet环境下最小量90传输成功率性能比较

图 4 横坐标表示 EPSN 规模数, 纵坐标表示传输成功率。当规模数为 4~8 时, GCTM 传输成功率平均接近 66.3%, KMCSPP 算法、KWABP 算法、M_MKPPA 算法传输成功率平均分别接近 58.9%、58.3%、58.1%, GCTM 平均传输成功率相对于其余三种算法分别提高了 12.5%、13%、13.6%; 当规模数为 12~15 时, GCTM 传输成功率平均接近 82.85%, KMCSPP 算法、KWABP 算法、M_MKPPA 算法传输成功率平均分别接近 77.3%、77.1%、77%, GCTM 平均传输成功率相对于其余三种算法分别提高了 7.17%、7.2%、7.3%。

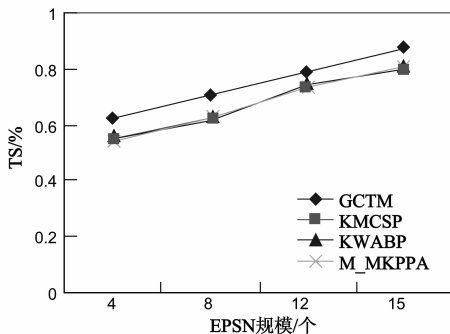


图4 Internet环境下最大量190传输成功率性能比较

从以上分析可以看出, 由于 Internet 具有复杂特性, 网络性能极其不稳定且动态变化较快, 同时传输距离较远。因此, 群组命令传输成功率普遍不高。

针对丢包率方面, 由于群组命令中的命令通常为一个分组大小。如果产生丢包, 意味着 GCTM 在支持 GCT 传输过程中造成部分命令丢失, 则意味着 GCT 传输失败, 需要重新传输。这点已经通过 GCTM 模型的传输成功率证明, 并且重新传输机制不是本文研究范围。因此, 丢包率不需要考虑。

5 结束语

本文提出 EPSN 网络, 并基于 EPSN 网络定义 GMC-MOOP 问题, 进一步分析路径无效过期以及路径竞争, 并建立模型。根据问题提出 GCTM 模型, 该模型分别解决了动态环境搜索有效路径以及有效路径竞争等问题。最后, 分别验证 GCTM 有效性以及收敛性。本文主要考虑基于 Internet 群组命令传输过程, 并没有考虑群组命令传输失败以后处理机制, 也没有具体分析 EPSN 网络拓扑规模与 GCT 的关系以及影响, 这是下一步工作。

参考文献

- [1] 宁焕生, 徐群玉. 全球物联网发展及中国物联网建设若干思考[J]. 电子学报, 2010, 38(11): 2590-2599.
- [2] NING Huan-sheng, XU Qun-yu. Research on global internet of things' developments and it's construction in china[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(11): 2590-2599. (in Chinese).
- [3] 朱洪波, 杨龙祥, 于全. 物联网的技术思想与应用策略研究[J]. 通信学报, 2010, 31(11): 2-11.
- [4] ZHU Hong-bo, YANG Long-xiang, YU Quan. Investigation of technical thought and application strategy for the internet of things[J]. Journal on Communications, 2010, 31(11): 2-11. (in Chinese).
- [5] ATZORI L, IERA A, GIACOMO M. The internet of things: A survey[J]. Computer Networks, 2010, 54(15): 2787-2805.
- [6] 钱志鸿, 王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报, 2012, 40(5): 1023-1029.
- [7] QIAN Zhi-hong, WANG Yi-jun. IOT technology and application[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(5): 1023-1029. (in Chinese).
- [8] Jia X L, et al. An efficient anti-collision protocol for RFID tag identification[J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(11): 1014-1016.
- [9] Welbourne E, et al. Building the internet of things using RFID: The RFID ecosystem experience[J]. IEEE Internet Computing, 2009, 13(3): 48-55.
- [10] 彭清泉, 等. 无线传感网络中自愈的群组密钥管理方案[J]. 电子学报, 2010, 38(1): 123-128.

- PENG Qing-quan, et al. A self-healing group key management scheme in wireless sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(1): 123 - 128. (in Chinese).
- [8] Liu Q, et al. Key technologies and applications of internet of things[J]. Computer Science, 2010, 37(6): 1 - 4.
- [9] 吴建平, 李星, 崔勇. 4over6: 基于非显式隧道的 IPv4 跨越 IPv6 互联机制[J]. 电子学报, 2006, 34(3): 454 - 458.
- WU Jian-ping, LI Xing, CUI Yong. 4over6: IPv4 network interconnection over IPv6 backbone without explicit tunneling[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(3): 454 - 458. (in Chinese).
- [10] XUE G L, SEN A, ZHANG W Y, et al. Finding a path subject to many additive QoS constraints[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007, 15(1): 201 - 211.
- [11] Mieghem P, Kuipers F. Concepts of exact qos routing algorithms[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004, 12(6): 851 - 864.
- [12] 吴家喲, 杨音颖, 陈益新, 叶晓国. 一种新的 QoS 覆盖多播路由协议的研究[J]. 计算机学报, 2006, 29(11): 1937 - 1948.
- WU Jia-Gao, YANG Yin-Ying, CHEN Yi-Xin, YE Xiao-Guo. A QoS-Aware overlay multicast routing protocol[J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(11): 1937 - 1948. (in Chinese).
- [13] 王兴伟, 王琦, 黄敏, 田野. 基于模糊积分和博弈论的 QoS 组播路由机制[J]. 软件学报, 2008, 19(7): 1743 - 1752.
- WANG Xing-Wei, WANG Qi, HUANG Min, TIAN Ye. A fuzzy integral and game theory based QoS multicast routing scheme[J]. Journal of Software, 2008, 19(7): 1743-1752. (in Chinese).
- [14] Gang Liu, Ramakrishnan K G. A * Prune: an algorithm for finding K shortest paths subject to multiple constraints[A]. INFOCOM 2001, Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies[C]. Anchorage, AK: IEEE, 2001. 743-749.
- [15] 黄佳庆, 杨宗凯, 等. 第 K 条最大可用带宽路径算法[J]. 计算机学报, 2004, 27(3): 402 - 408.
- HUANG Jia-Qing, YANG Zong-Kai, DU Xu. K th widest available bandwidth path algorithm[J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(3): 402 - 408. (in Chinese).
- [16] 齐小刚, 刘三阳. 基于 K 最优路径的 QoS 路由预计算新算法[J]. 电子学报, 2005, 33(10): 1751 - 1756.
- QI Xiao-gang, Liu San-yang. Novel precomputation algorithms for QoS routing based on the K -optimal paths[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(10): 1751 - 1756. (in Chinese).
- [17] 郭改文, 黄卡玛. 模拟自然树生长的竞争算法及在曲线拟合中的应用[J]. 电子学报, 2008, 36(9): 1839 - 1843.
- GUO Gai-wen, HUANG Ka-ma. A competition algorithm of simulated growing natural tree and its application in curve fitting[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(9): 1839 - 1844. (in Chinese).
- [18] WAXMAN B M. Performance evaluation of multipoint routing algorithms[A]. Proceedings of the INFOCOM'93 Conference [C]. San Francisco, CA: IEEE, 1993. 980 - 986.

作者简介



章 刚 男, 1981 年 5 月出生, 江西抚州人. 2007 年毕业于北京大学软件与微电子学院, 2010 年进入上海理工大学学习, 现为博士研究生, 从事物联网、网络计算等方面的有关研究.
E-mail: zhanggang@pub.ss.pku.edu.cn



陈庆奎 男, 1966 年 1 月出生, 黑龙江哈尔滨人. 教授、博士、博士生导师. 1987 年和 1996 年分别在吉林大学、哈尔滨工业大学获学士和硕士学位. 现为上海理工大学光电信息实验中心主任、上海智慧家居大规模共性技术研究工程中心主任, 主要从事网络计算、并行计算等方面的研究工作.
E-mail: chenqingkui@gmail.com