

doi: 10.7690/bgzd.2015.03.014

## 运动状态下基于容断网络的训练数据传输方法

何 伟, 王 华, 陈永科, 杨艾军

(陆军军官学院军事训练教研室, 合肥 230031)

**摘要:** 针对参训人员移动导致军事训练数据传输链路通断频繁的问题, 提出一种基于容断网络的数据传输方法。介绍容断网络的基本概念及其路由思想, 分析运用容断网络传输训练数据的可行性, 构建以容断网络为核心、与传感网和既有局域网兼容的训练数据传输网络结构, 并依据运动数据分析结果提出基于运动规律选择数据转发节点的路由算法。仿真结果表明: 该方法通过参训节点之间的协作转发, 能缩短数据延迟, 提高训练数据的时效性。

**关键词:** 容断网络; 训练数据; 传输方法; 网络结构

**中图分类号:** TP393.02 **文献标志码:** A

## Training Data Transmission Method Based on DTN in Mobile Conditions

He Wei, Wang Hua, Chen Yongke, Yang Aijun

(Staff Room of Military Training, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

**Abstract:** For trainees moving on and off frequently lead to military training data transmission link problem, put forwards the data transmission method based on disruption toleration network (DTN). It briefly introduces basic concepts of DTN and routing, analysis the feasibility of training data by DTN transmission, and builds the training data transmission network architecture based on DTN, which is compatible with sensor network and the local area network (LAN). And routing algorithm is proposed, which selects forwarding node according to the motion law and forwards data through collaboration among participation nodes. The simulation shows that, it can shorten the data delay to improve the efficiency of the training data.

**Keywords:** DTN; training data; transmission method; network architecture

### 0 引言

军事训练数据是训练监控和训练评估等训练应用的基础, 其应用价值高低与时效性密切相关。实践证明: 训练数据时效性越强, 应用价值越高; 反之, 时效性越弱, 应用价值越低。链路不畅导致数据处于等待传输的状态, 对数据的时效性影响尤为重大, 是制约数据应用价值的关键环节。要保证训练数据的时效性, 就需要研究减少训练数据等待传输的方法和途径。

参训人员(主要指受训人员)处于运动状态, 超出与数据服务器的通信范围, 是造成相互之间存在不稳定的端到端链路的主要原因。随着穿戴计算和生命监测<sup>[1-3]</sup>等移动应用的不断涌现和发展, 这种情况将越来越普遍。为了在参训人员与数据服务器之间建立起传递数据的有效链路, 常用解决方案有: 一是采用蜂窝网络(2G/3G/4G)等远距离无线传输技术, 扩大通信范围、强化端到端的连接基础, 保证时效性; 二是采用 WiFi/蓝牙/NFC 等近距离无线传输技术(或有线传输技术), 减少不必要的能量消耗, 延长设备的续航时间, 如大多数智能腕带都利

用有线或蓝牙与服务器进行数据同步。比较而言, 在群体训练数据采集和传输中, 前者建设成本高, 不能随着训练场地和环境变换而快速的部署; 后者数据同步少, 数据时效性低。另一种易使用、低成本的混合解决方案——容断网络, 在没有端到端的恶劣条件下, 通过参训人员携带的数据设备之间的协作, 发掘所有物理通断和参训个体移动所带来的连接机会(特别是中继机会)。将其应用于训练数据传输, 可缩短数据等待传输的时间, 提高时效性。

### 1 容断网络

#### 1.1 容断网络概述

随着移动网络的不断扩张, 节点稀疏、快速移动等原因造成网络间歇性连接, 呈现高时延、可能不存在稳定的端到端连接等特性, 使其不满足现有 TCP/IP 网络体系结构对底层网络的基本要求: 传输延迟低、传输错误率小、而且数据收发双方之间存在连续端到端链路。为此, Kevin Fall<sup>[4]</sup>提出了“容迟网络”(delay tolerate network, DTN)的概念, 在传输层与应用层之间设置覆盖层, 处理网络频繁通

收稿日期: 2014-11-13; 修回日期: 2014-12-23

作者简介: 何 伟(1986—), 男, 四川人, 硕士, 助教, 从事军事训练技术研究。

断、高延迟和异构性等挑战性问题。此后，美国国防部先进研究项目局 (defense advanced research projects agency, DARPA) 资助多个 DTN 项目，主要解决因无线通信距离、移动节点稀疏、能量受限和攻击等原因造成的中断，并使用术语——“容断网络” (disruption tolerate network, DTN)。目前，DTN 研究的热点包括网络中的机会主义路由、拥塞控制、网络安全等。需要指出的是，在不明确指出的情况下，DTN 既代表挑战性网络的统称，也是表示解决这种网络下通信的解决方案。

### 1.2 容断网络路由

从源节点向目的节点传输或路由数据，是所有推送式通信网络必不可少的基本功能。传统的 AODV<sup>[5]</sup>和 DSR<sup>[6]</sup>等 Ad Hoc 常用路由，必须先建立起完整的传输路径之后才能传输数据负载。在 DTN 这类极具挑战性的网络里，连接资源有限、端到端路径匮乏，Ad Hoc 路由正常工作的基础通常不存在。因此，DTN 路由转向“存储—携带—转发”策略，通过通信节点之间协作转发，使其越来越接近、直至抵达目标节点。评价 DTN 路由主要指标有送达成功率、延迟以及通信代价等。其中，送达成功率是最基本的指标。保证送达成功率的最常用方法，是创建消息的多个副本，并注入到网络中，期望其中之一能成功送达目标。此方法只在存储和带宽充裕的环境下可行。更多情况下，应针对应用场景，设计具有针对性的路由算法，充分发掘转发机会，提高数据转发效率。

### 1.3 运动状态下的训练数据容断传输条件分析

在训练过程中，参训人员通过携带的数据传输设备与服务器通信。下面，将参训人员与数据传输设备不加区别地统称为“参训节点”。

军事训练具有训练持续时间长、运动强度高和活动范围大等特点。该场景中，采集训练数据对通信需求强烈，但是“端到端”连接难以覆盖所有活动区域。然而，实施容断传输的条件依然具备：一是移动性。虽然参训节点和服务器的通信范围有限，但是参训节点利用自身的移动能力摆渡数据。换言之，在连接间隙期，参训节点可以“存储”并“携带”着数据运动，直到与服务器能够直接或间接通信为止；二是群体性。室外训练常为群体性训练，即多个参训节点同时在相对集中的训练场上训练。尽管部分参训节点不能直接把数据摆渡成功，但可借助其节点协助转发，从而间接地成功把数据传输

到目标节点，即存在相互协作“转发”数据的基础；三是规律性。参训节点训练的移动轨迹存在较强规律性，常由多个周期或往复组成。深度挖掘这种规律，能够改善传输性能。综上，军事训练具备运用容断网络传输训练数据的基本条件。

## 2 训练数据传输的网络结构和功能设计

为了及时传输训练数据，设计基于容断网络的训练数据传输网络。整个数据传输网络，由既有局域网、参训个体子网和容断网络等 3 大子网构成，其基本结构如图 1 所示。

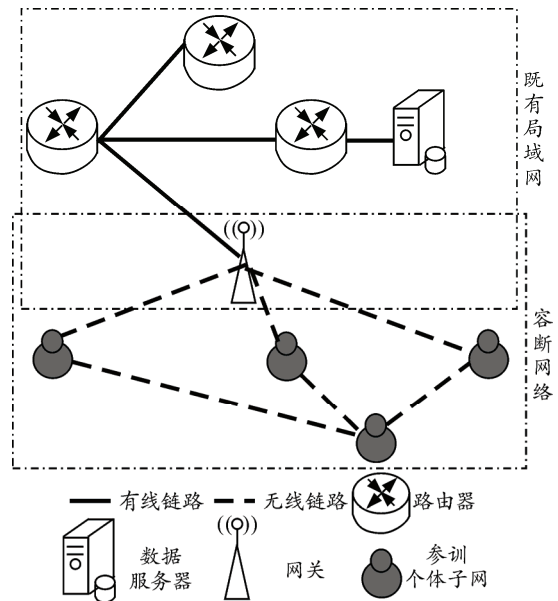


图 1 训练数据传输网络结构

### 2.1 既有局域网

既有局域网承载着绝大多数数据训练数据应用，通过网关与其他网络联通，可与广域网相通，是整个训练数据传输网络中延伸最广、拓扑最稳定的子网，也是训练数据传输的主要目标网络。该子网内部具有延时小传输率高、误码率低等特点，赋有数据分析处理和和应用等功能。

### 2.2 参训个体子网

参训个体子网是以数据汇聚器为核心、以传感器和输出设备为主体的有线无线混合式星状网络 (如图 2)。各传感器属于输入设备，是训练数据的最主要来源，负责采集参训人员、武器装备和环境等个体范围内的状态数据，如参训人员的心率、武器的剩余推弹量以及环境温度等。各输出设备是向参训人员传递数据的主要人机接口，负责以参训人员易读的形式输出指定数据，如以声音、震动或图形的形式输出警告数据。这 2 类设备是星状网络的

叶子节点，通过有线或无线的方式与数据汇聚器直接相连。数据汇聚器位于该网络的中心，是此网络与外界网络通信的唯一门户。根据预设配置信息，数据汇聚器把训练数据与参训人员身份关联起来；同时，筛选与当前子网标志匹配的数据，允许其进入参训个体子网。为了使训练个体子网对外表现为一体、便于设计数据流，所有数据都须经汇聚器进出参训个体子网。

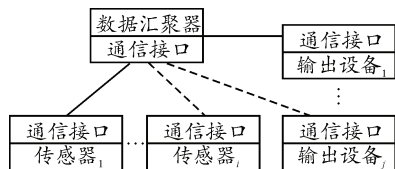


图2 参训个体子网结构

参训个体子网具有采集、汇聚和转发个体范围内训练数据等基本功能，其核心——数据汇聚器的功能包括：管理训练数据源节点和目标节点；处理进入参训个体子网的数据，并分发到相应输出设备上执行；与其他数据汇聚器协作转发数据，缓存未送达目标的数据。

### 2.3 容断网络

容断网络由数据汇聚器和既有局域网边沿的网关构成。它是连接参训个体子网与参训个体子网、参训个体子网与既有局域网的桥梁，同时也是最易出现数据传输、造成延迟的主要环节之一。

容断网络的主体是参训个体子网中的数据汇聚器。它们按照路由算法的约定，建立协作筛选和转发数据的机制，通过有限的网关与既有局域网交换数据。

训练数据从参训个体子网进入该网络，经过若干数据汇聚器之间的有效协作转发，才能抵达网关并进入既有局域网。容断网络内部的连接方式开放，既可以是有线连接，又可以是2G/3G/4G远距离无线连接，还可以是蓝牙/Zigbee近距离无线连接<sup>[7]</sup>；其功能有二：一是适配不同通信协议，实现不同网络之间的互操作；二是缓存暂时无法送达的数据，避免应用层处理复杂的数据缓存；三是发现各网络之间直接或间接的、同步的或异步的互联机会，并按策略加以利用，实现数据传输。

### 2.4 数据流转

各网络组件在数据传输有着多重功能(图3所示)。从功能上讲，既有局域网以数据应用和持久存储为主，参训个体子网以数据转换和采集为主，容

断网络以桥接前2个网络为主。这种差异，使得它们在功能上相互依存，在物理上紧密衔接。局域网和参训个体子网内部通常存在端到端连接，而且带宽充足，都能以较小的时延交付数据。然而，两者之间的容断网络，能否成功交付数据、数据时效性如何，主要受容断路由的影响。

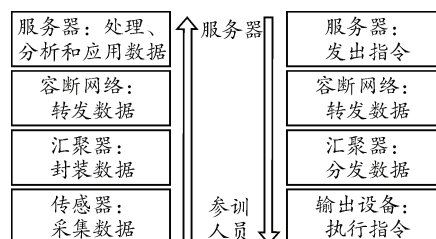


图3 服务器与参训人员之间的数据流转过程

## 3 基于运动规律预测连接时间的容断路由

### 3.1 路由概述

容断网络内部的路由称为容断路由，具有开放、非唯一、可替换的特点。同一容断网络环境下，随着优化目标的不同，采用的路由方案不尽相同。为了不失时效性地传输参训个体在400 m环形跑道上的长跑训练数据，向训练监控应用提供数据支持，笔者按照分析运动规律，设计转发节点选择模型，实验验证等步骤，设计基于运动规律预测连接时间的路由算法。

位于局域网边沿的网关是训练数据进入局域网的必经之道。假设局域网内容通信条件良好，发往局域网内某节点的数据只要能抵达与此节点相通的任意网关，即认为数据传输必然成功。由于训练数据以文本为主，故数据量较小；再假设2个节点相遇并建立连接后，能在瞬间成功完成所有数据传输，亦“相遇即传输完成”。

### 3.2 历史运动数据分析

参训对象是参训人员的主体。利用GPS记录105名参训对象248人次的5 km长跑训练运动轨迹(图4所示)。



图4 参训对象GPS运动轨迹示例图

分析结果表明：对于总体而言，训练成绩呈正态分布(图 5，为防泄密用相对于某时刻  $t$  的时间来表示训练成绩)；对于绝大多数参训对象来说，单圈训练成绩，在其平均成绩  $\pm 5\%$  范围内波动(图 6)。由于单圈训练成绩相对稳定，故假设参训对象的运动速率在一定长的时间段内不变。

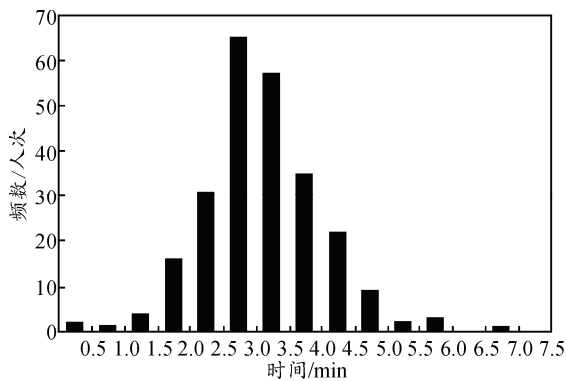


图 5 5 km 训练成绩分布

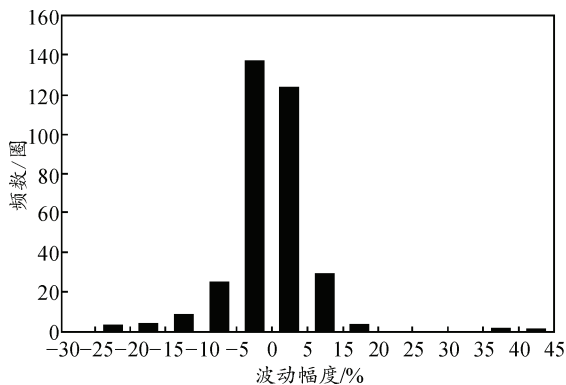


图 6 单圈训练成绩波动幅度分布

### 3.3 数据转发模型

节点之间协作的关键，是确定如何转发数据，即是否转发、转发给谁。运动规律，是节点协调解决此问题的重要参考依据之一，特别是节点之间连接时间。因此，建立预测连接时间的数据转发模型。

假设参训对象的移动速度相对稳定，故每圈成绩可用最近若干次成绩加权平滑得到。对于参训节点  $N$ ，已知最近的  $i$  次单圈成绩序列  $[T_1, T_2, \dots, T_{i-1}, T_i]$ ，则  $N$  的下一单圈训练成绩预测值

$$T_{i+1} = a_n T_i + a_{n-1} T_{i-1} + \dots + a_1 T_{i-n+1}$$

它表示用最近  $n$  次单圈训练成绩加权值，用于预测下一单圈成绩。其中， $a_1, a_2, \dots, a_n$  为权值，且

$$\sum_{j=1}^i a_j = 1$$

记本圈训练的开始时间  $t_i$ ，则训练对象与网关(位于每圈的终点)连接的时刻  $t_{i+1} = t_i + T_{i+1}$ 。

基于 Spray and Wait 路由算法<sup>[7]</sup>以及与网关连

接的预测模型，设计数据转发算法，只向比自身更早与数据目标建立连接节点转发数据。

### 3.4 路由实验

为了验证相遇时间预测的数据传输可减少延迟，选择 ONE<sup>[8]</sup>仿真平台，设计路由仿真实验(参数设置如表 1)，对比其与“点到点”之间的延迟。仿真实验结果表明：在不依靠辅助通信器材情况下，基于相遇时间预测的容断路由，可在运动状态下传输训练数据，并使数据传输延迟缩短 23% 以上。当节点密度增强到一定程度，传输性能与 Ad hoc 网络相当。同时，保持网络整体的易部署能力。

表 1 仿真实验参数

参数名	参数值
参训节点数	40
运动速度/(m/s)	3.3~5.0
训练数据传输频率/(次/s)	0.1
运动距离/m	5 000

## 4 结束语

高效便携的训练数据传输方法，是保证数据时效性的必要手段。笔者构建与传感网和既有局域网兼容的、以容断网络为核心的训练数据传输网络结构，采用基于运动规律选择数据转发节点的路由算法，能够实现运动中的训练数据传输的时效性，对提高训练数据效益具有实践意义。

### 参考文献：

- [1] 陈剑, 董秀珍, 焦腾, 等. 单兵生命状态监测系统研究[J]. 医疗卫生装备, 2005(7): 20-21.
- [2] 王春飞, 石江宏. 美军单兵生命体征监测系统中的无线传感网络[J]. 医疗卫生装备, 2007(11): 34-39.
- [3] 哈瑾. 训练数据采集系统设计与实现[J]. 煤炭技术, 2011(2): 206-207.
- [4] Fall, Kevin. A Message-Switched Architecture for Challenged Internets[R]. IRB-TR-02-010. July 2002.
- [5] Perkins, C. Belding-Royer, E. Das, S. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing[OL]. IETF RFC 3561. 2010.
- [6] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks[M]. Mobile computing. Springer US, 1996: 153-181.
- [7] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]. Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking. ACM, 2005: 252-259.
- [8] Keränen, Ari, Jörg Ott, Teemu Kärkkäinen. The ONE simulator for DTN protocol evaluation. Proceedings of the 2nd international conference on simulation tools and techniques[C]. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2009: 1-10.