

适应低时延业务需求的分布式可穿戴单兵作战信息系统*

任智源¹, 肖尧¹, 郭凯², 程文驰¹, 张海林¹

(1. 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西 西安 710071; 2. 北京遥测技术研究所, 北京 100076)

摘要:针对云计算应用在单兵作战系统场景下业务处理时延高、服务质量无法保障的问题,提出一种基于可穿戴计算的分布式单兵作战信息系统。利用士兵身上的可穿戴智能设备构建本地计算层,在作战地点就近处理计算数据,提供给士兵本地的信息处理与融合能力,并采用广义扩散负载均衡算法平衡各设备负载,降低业务处理时延;同时利用分布式计算的容错能力增强系统的可靠性。仿真结果表明,基于可穿戴设备的分布式本地网络架构能有效地降低作战任务的处理时延,同时增强系统的可靠性。

关键词:单兵作战系统;可穿戴技术;云计算;本地计算;负载均衡

中图分类号:TN915 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-2486(2018)04-159-07

Distributed wearable individual soldier combat information system for low-latency business

REN Zhiyuan¹, XIAO Yao¹, GUO Kai², CHENG Wenchu¹, ZHANG Hailin¹

(1. State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China;
2. Beijing Research Institute of Telemetry, Beijing 100076, China)

Abstract: Aimed at the problem of high processing delay and low quality of services of cloud computing in individual soldier combat system, a distributed individual soldier combat information system supported by wearable technology was proposed. A local computing layer was constructed by using the intelligent equipment of the soldier, which can provide a platform for battlefield data processing at the nearest combat place and supply soldier with the ability of information fusion and processing. The generalized diffusion load balancing algorithm was used to balance the load of equipment for reducing the delay of business processing and the reliability of the system was enhanced by the distributed computing in realistic battlefield environment. The simulation results show that the distributed wearable local network architecture can effectively reduce the processing delay and enhance the reliability of the combat system.

Key words: individual soldier combat system; wearable technology; cloud computing; local computing; load balancing

陆军作为国家武装力量的重要组成,在20世纪80年代便开始了从机械化向信息化的逐渐转型,通过在装备中融入新材料、电子、通信等技术,形成了在战场上互联互通、快速协同作战的单兵作战系统,极大增强了士兵生存、杀伤、机动等综合实力。

信息化作战体系除了作战装备之外,还包括后勤支援和战术策略的信息化。如美军的作战人员信息网(Warfighter Information Network-Tactical, WIN-T)可覆盖整个军队,联合各部队资源,并提供大容量、高移动性的通信服务^[1]。随着战场信息化建设的迅猛发展,需要从大量的战场传感器、无人机、卫星或单兵提供的各种情报数据中提取有价值的信息进行分析挖掘,这种大数据的实时

处理给战场通信网络带来了巨大的挑战。近年来,许多专家学者提出了“作战云”体系架构^[2],使用高性能云服务器对战场资源进行重组、融合,形成高度动态、弹性的作战资源池。应用云计算的战场通信网络大大提高了大数据的处理融合能力,但云计算中心往往离前线作战单元较远,长距离的数据传输占据了大量的战场通信链路,增加了传输时延,导致任务执行效率低、作战行动缓慢等问题;同时,随着战场信息化水平的不断提升,云计算平台需处理的业务急剧增加,战场网络带宽的严重不足与云服务器负担的加重使作战业务的可靠性下降;此外,由于电磁压制、网络攻击、定向物理性破坏等因素^[3],战场网络环境十分恶劣,无法保障实时的网络连接。

* 收稿日期:2017-05-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61401331);国家重点研发计划政府间专项资助项目(2016YFE0123000)

作者简介:任智源(1983—),男,江西瑞金人,副教授,博士,硕士生导师,E-mail:zyren@xidian.edu.cn

针对传统云计算应用在单兵作战系统中的不足,本文提出了一种基于可穿戴计算的分布式单兵作战信息系统,以提高单兵在战场环境下的本地信息处理能力与实时作战效率,避免云计算的高传输时延,同时利用分布式的优势提升系统的抗毁性能,防止因某一装备的损坏而导致整体系统瘫痪。

1 分布式可穿戴单兵作战信息系统

随着智能手环、手表、眼镜等可穿戴设备在民用领域的流行,各国军事部门给予了高度重视,争相将可穿戴技术引入单兵作战系统中^[4],旨在开发出轻巧便捷的智能穿戴设备,帮助士兵更有效地作战、抵御外界危机。例如:英国 ITL 公司推出的“Spirit”智能织物作战服,将电子设备编织到衣物中,为穿戴者提供防弹、移动供电、数据连接等功能^[5];哥伦比亚 Lemur Design Studio 公司设计的“Save One Life”智能鞋,可以感应脚底大块金属的磁场反应,并在手表上显示可疑物体位置。此外,还有外骨骼、夜视头盔、可穿戴医疗用具等设备。随着高性能低功耗芯片的相继推出及人体工学设计与智能电子技术的融合,在未来,会有更多性能强劲的可穿戴作战装备出现。除了计算能力、传感精度等硬件参数的提高,如何强化对战场的联合数据采集与信息处理是面对未来信息化战场的关键。

云计算的大数据融合能力在日常训练中可以起到很好的作用,将士兵详细的体征与训练数据等进行分析,从而制订精细的训练计划。但在前线战场或在沙漠、雨林等特殊环境下,士兵无法依托遥远的高性能云服务器,只能依靠自身的数据处理能力。受电源、尺寸的影响,单件可穿戴装备的计算性能较弱,无法支撑实时性要求较高的战场任务,因此,联合多件可穿戴设备的计算、通信和存储能力形成分布式单兵作战信息系统是十分必要的。

在信息融合方面,分布在士兵全身的可穿戴设备需有统一的应用接口、接入管理规范等,以避免设备之间相对孤立(例如智能鞋探测到的地雷信息,除了可显示到手表上,还应根据士兵的需求推送到头戴显示屏、手机等其他设备上,或在军队共同维护的电子地图上标记危险标签等),且各设备探测到的战场信息及信息的更新可实时推送至所需的设备上。数据在各装备间应“畅通无阻”,只有将外界信息及自身状态进行综合优化,才能对战场态势与威胁进行评估、对参战能力等

有充分的了解,便于精确化指挥作战。此外,在存储方面,因网络原因无法上传至指挥部的重要情报可通过分布式存储冗余到其他设备上来提高数据的可靠性。

除了信息融合及扩大系统存储之外,分布式单兵作战信息系统也拥有传统分布式系统的优点:①突破了单件设备的性能瓶颈,极大提高了系统的处理性能;②增强了系统的容错能力。在当今及未来信息化战场中,许多应用如无人机协同作战、航迹轨迹优化、武器-目标分配^[6]等都涉及组合优化或 NP-Hard 问题,随着优化目标和约束条件的增加,所需计算量可能呈指数增长,同时对实时性与容错也有严格的要求。因此,为解决单兵任务执行中对“大数据”处理能力的需要,可对各穿戴设备的计算资源进行优化配置,将业务负载合理地迁移至其他设备处理以降低时延,提高作战效率。此外,也需评估系统可靠性,分析部分设备损坏后系统的剩余性能,可更好地衡量系统的实时处理能力。

2 分布式单兵作战信息系统网络架构

本文提出的基于可穿戴计算的分布式单兵作战信息系统网络架构如图 1 所示。

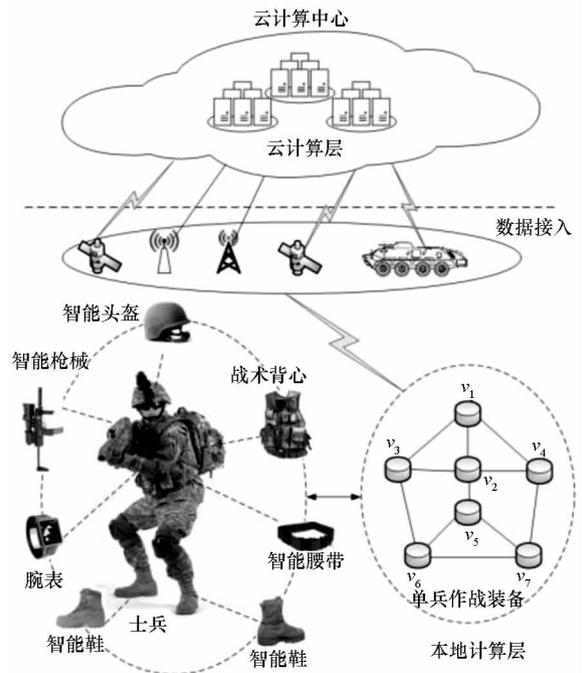


图 1 单兵作战系统的新型可穿戴信息网络架构

Fig. 1 Novel wearable information network architecture of individual soldier combat system

该架构分为两层:本地计算层和云计算层。其中,云计算层是由高性能计算机组成的云计算中心,可以和战场指挥所等作战平台快速建立连

接,必要情况下也可与单兵用户终端进行无线连接。云服务器可以快速地处理从各个战场中收集到的海量数据,完成对战场情报的深度融合,并实时感知战场态势,进行战场威胁评估,有效打破各部队的信息壁垒,让宝贵的信息资源在部队之间快速流动与共享,使指战人员可以全方位地了解战场状况^[7]。

本地计算层由士兵身上具有计算、存储和通信资源的智能穿戴设备组成,根据作战的实时性需求,士兵身上的设备既是数据的产生者同时也是数据的直接处理者,设备之间的传输时延极低,可以快速地处理数据转发,进而分布式地处理计算业务,提高单兵作战系统的处理能力,为士兵提供本地化的分布式计算,同时也兼具信息共享融合与存储的功能,是携带在士兵身上的小型信息融合系统。

一些原需上传至云计算中心处理的业务可就近在本地计算层中处理,避免数据的高传输时延,提高作战单元的执行效率。此外,大量传感器收集的战场或士兵数据经过本地计算层的过滤融合后再通过战场基站、装甲车辆、卫星等接入节点连接云计算层,可以大幅地降低需要上传的数据容量,减少战场链路带宽与云服务器的压力。同时,各设备可根据作战需求接收云计算层的信息情报,更新本地缓存的作战数据,以抢占战场信息的制高点。

3 分布式单兵作战信息系统的负载均衡策略

由于单个可穿戴设备的计算能力较弱,难以处理未来战场中较大数据量的作战任务。因此,需在多设备间进行分布式计算以降低任务的响应时延,其中负载均衡是分布式计算的关键问题,为了更好地满足对低时延、高可靠性的要求,需对单兵作战系统的分布式负载均衡策略展开研究。

3.1 负载均衡理论模型

负载均衡的实现方法包括集中式和分布式^[8]。集中式策略简单、直观,但容易产生中心节点瓶颈,且中心节点在战时损坏会导致系统无法正常运行。而分布式策略可让节点与其连接的节点直接交换负载,多次迭代后使系统达到负载均衡。考虑到实际的作战背景,本文采用近邻法中的异构广义扩散负载均衡策略,每个节点都能按需向周围节点扩散负载,由于没有中心节点的限制,大大提高了系统的可靠性与抗毁性。

在单兵作战系统场景下,考虑由某士兵身上的 n 个智能装备组成的本地计算层。在作战行动中,士兵的不同作战姿态会导致设备网络拓扑的变化,但由于士兵身体运动范围的限制,拓扑变化十分有限,因此可以将这 n 个设备的拓扑近似认为不变。

本地计算层的设备可抽象为带权无向图 $G = (V, E)$,如图2所示,其中 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ 代表设备集合, $E = \{e_{v_1, v_2}, e_{v_2, v_3}, \dots, e_{v_i, v_j}, \dots, e_{v_{(n-1)}, v_n}\}$ 代表边集合,边 e_{v_i, v_j} 表示两设备间的通信链路,设备只能与其直接连接的设备进行通信, W_{v_i, v_j} 表示边上的权重值,设备 v_i 上的计算能力由 C_{v_i} 表示。

当本地计算层中任意一个设备接收到负载量为 D 的作战任务 $Task$ 时,若该任务负载超过了设备的负载阈值,则设该设备为启动节点,启动扩散算法进行联合信息处理,以获得较小的业务处理时延。而当设备负载未超过阈值时,代表该设备独立完成作战任务可获得较小的业务处理时延,系统无须启动扩散算法,减少任务分发的计算量。负载阈值可事先设定,或根据当前系统状态自适应调整。本文主要研究设备启动扩散算法时的业务处理情况。

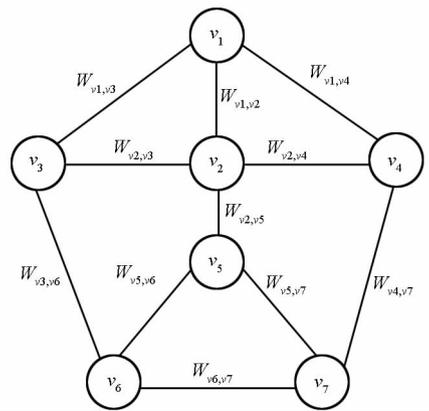


图2 本地计算层设备拓扑图

Fig. 2 Topological graph of local computing layer

启动节点可将其部分负载交由连接的低负载设备进行处理;每个设备接收邻近高负载设备上的负载,同时也将其部分负载交由邻近的低负载设备。在同一时刻,设备间的数据转移方向确定。设备间不断地交换负载,达到全局的负载均衡之后,各设备处理其上的负载进行联合信息处理。设系统初始负载为 $l = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$, 负载均衡后各设备上负载为 $\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_n$, 任务在本地计算层中处理的总时延 t 可以表示为:

$$t = t_d + t_p + t_f \quad (1)$$

式(1)表明,总时延 t 由数据扩散时延 t_d 、设备处理时延 t_p 和任务结果反馈时延 t_f 组成。其中,扩散时延 t_d 可表示为式(2)。负载首先需在设备间进行多次扩散以达到各设备上的负载均衡, $|\delta_{ij}^{(q)}|/B_{ij}$ 是第 q 次迭代时链路 $e_{vi,vj}$ 上的数据转移时延,其中, B_{ij} 是链路 $e_{vi,vj}$ 上的通信带宽, $|\delta_{ij}^{(q)}|$ 为第 q 次迭代时链路 $e_{vi,vj}$ 上的数据转移量。假设各设备上负载迭代 k 次后达到负载均衡,每次迭代的扩散时延取决于数据转移最慢的一条通信链路,即等于所有边上数据转移时延最大的一项,整体扩散时延为 k 次迭代的时延相加, t_d 与负载量 D 和数据的扩散方式有关。

$$t_d = \sum_{q=1}^k \max_{i,j \in e_{vi,vj}} (|\delta_{ij}^{(q)}|/B_{ij}) \quad (2)$$

当系统负载均衡后,设备处理其上负载的时延取决于各设备中处理速度最慢的一个,即设备中最大的处理时延,因此,设备处理时延 t_p 如式(3)所示:

$$t_p = \max_{i=1,2,\dots,n} (\bar{l}_i/C_{vi}) \quad (3)$$

式(4)是任务结果反馈时延, T_i 表示设备 v_i 处理完其上负载后,将结果反馈至启动节点的时延。任务结果反馈时延 t_f 取决于各设备反馈时延中最大的一项。

$$t_f = \max_{i=1,2,\dots,n} (T_i) \quad (4)$$

在本文分布式系统中,负载均衡可定义为使各设备上的负载处理时延相等,即调整设备上负载使各设备的处理时延等于系统的平均处理时延:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n l_i / \sum_{i=1}^n C_{vi} \quad (5)$$

不失一般性,假设设备上经处理后的任务结果数据量较小,在链路带宽很大、传播时延极小的分布式单兵作战网络中,任务结果反馈时延 t_f 可以忽略。因此,任务的总时延 t 主要取决于任务的扩散时延 t_d 与处理时延 t_p 。由于各设备之间的通信有一定的代价,应降低数据迁移的成本,在其他硬件条件不变时,设备间的负载交换方式决定了链路上转移的数据量。为使总任务时延 t 尽可能小,应选择合适的扩散方法使各设备在达到负载均衡时链路上转移的数据量尽可能小,以使任务的执行效率更高。

综上所述,整个负载均衡过程可等效于求解式(6)~(7)所示的优化问题:

$$\min \left[\sum_{q=1}^k \max_{i,j \in e_{vi,vj}} (|\delta_{ij}^{(q)}|/B_{ij}) + \max_{i=1,2,\dots,n} (\bar{l}_i/C_{vi}) \right] \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^n \bar{l}_i D \quad (7)$$

其中约束条件式(7)保证了负载均衡时扩散至各设备上处理的负载可合并为原作战任务 $Task$ 的负载 D 。

3.2 异构系统中的扩散负载均衡算法

考虑某一单兵作战系统 $G = (V, E)$,可穿戴设备节点数量为 n ,每个节点从 1 至 n 依次编号。 E 为边集合,数量为 p ,每条边从 1 至 p 依次编号,并规定方向。当某一设备接收到超过阈值的作战任务时,启用扩散算法,经过 k 次扩散迭代后各设备负载为 $I^{(k)} = \{l_1^{(k)}, l_2^{(k)}, \dots, l_n^{(k)}\}$,迭代关系为 $I^{(k)} = MI^{(k-1)}$, M 是广义扩散矩阵,其元素 m_{ij} 需满足以下条件:

$$m_{ij} > 0 \quad \{i,j\} \in E \text{ or } i = j \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V} m_{ij} = 1 \quad j \in V \quad (9)$$

$$m_{ij} C_{vj} = m_{ji} C_{vi} \quad i \in V, j \in V \quad (10)$$

基于广义扩散矩阵的扩散算法可以在 $O(1/|\ln(\lambda_M)|)$ 步内完成,即达到负载均衡状态,以获得最小的处理时延 t_p ,其中 λ_M 是广义扩散矩阵 M 所有特征值绝对值第二大的数。算法基本流程如算法 1 所示。

算法 1 广义扩散负载均衡算法

Alg. 1 Generalized diffusion load balancing algorithm

```

1 根据拓扑图建立扩散矩阵  $M$ ;
2  while(未收敛) do
3     for 所有节点  $v_i$  do
4         for 所有属于边  $e_{vi,vj}$  的节点  $v_j$  do
5              $v_i, v_j$  交换各自负载信息  $l_i^{(q)}$  和  $l_j^{(q)}$ 
6             转移的负载量为  $\delta_{ij}^{(q)} = m_{ji} l_i^{(q)} - m_{ij} l_j^{(q)}$ 
7             经负载转移后  $v_i$  上负载为:
8                  $l_i^{(q+1)} = l_i^{(q)} - \sum_{e_{vi,vj} \in E} \delta_{ij}^{(q)}$ 
9              $q = q + 1$ 
10        end for
11    end for
12    end while

```

为解决式(6)的问题,还需扩散时延 t_d 尽可能小。参考文献[9]中的扩散矩阵 $M^1(\varepsilon_0)$,其在理论上被证明有比水动力学法更快的收敛速度,且更适合应用在拓扑可能改变(设备损坏)的单兵作战系统中,减少因拓扑改变而造成的额外计算开销。

4 仿真分析

本节将验证基于广义扩散算法 (Generalized Diffusion Algorithm, GDA) 的分布式单兵作战网络架构在降低数据处理时延上的有效性,并与传统云计算进行时延对比;同时考虑部分穿戴设备失效后对系统性能的影响,分析系统的可靠性,并与一些经典负载均衡算法进行了对比。

使用的仿真平台为 MATLAB,设单兵系统中装备数量为 7,通信链路数量为 14,拓扑与图 2 保持一致。以弹道轨迹计算任务为例,辅助瞄准系统将传感器测量参数如风向、气温、气压、目标移动量、枪支系数等进行联合优化,从而修正瞄准点以实现精确打击。参考文献 [10] 的弹道计算方法,请求一次辅助瞄准的数据量约为 1 Mb,需处理的机器指令数估算为 300 万条,由于打击对象的移动性,系统需要实时预测目标行动,根据方向、速度等进行提前预测,在本时刻需要计算目标下一个可能的行动地点,即同一时刻可能会有多个计算请求。不失一般性,同一时刻的计算请求数从 0 到 20 范围内变化。设云服务器的处理能力为 2000 MIPS,云服务器与单兵系统中各设备的链路带宽为 10 Mbps,参考文献 [11 - 12] 将智能穿戴设备计算能力和各链路的通信带宽参数设置为表 1、表 2 中所示。

4.1 本地计算与云计算时延性能分析

为验证本地计算层的时延性能,基于广义扩散算法进行仿真实验,结果如图 3 所示。

当云计算链路带宽为 10 Mbps 时,随着任务请求个数的增加,云计算虽然有很强的数据处理能力,但由于带宽较小,传输时延过大,整体时延

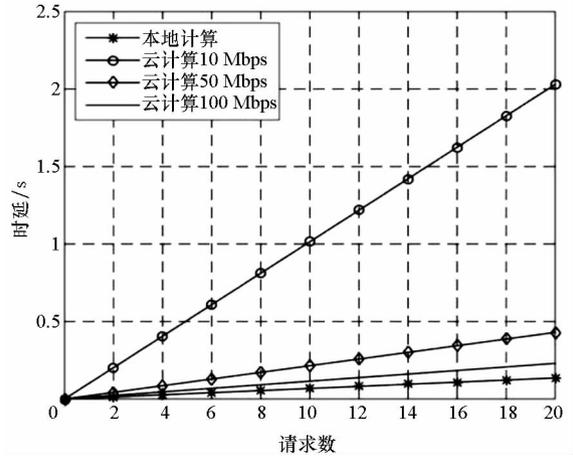


图 3 本地计算与传统云计算时延对比
Fig. 3 Time delay comparison of local computing and traditional cloud computing

不如就近处理的本地计算。在任务请求个数为 20 时,随着云服务器与单兵系统连接的链路带宽逐渐增大,在 10 Mbps、50 Mbps 和 100 Mbps 的链路带宽下使用云计算进行任务处理,时延分别为 2.03 s、0.43 s 和 0.23 s。可见随着链路带宽的增加,云计算总任务时延不断地减少。本地计算在任务请求个数为 20 时,时延为 0.136 s,云计算要达到此时延,链路带宽需达到 188.68 Mbps,这在当前的战场环境中很难达到。分布式单兵作战系统的低时延是因为支持本地化数据处理,各设备间传输时延极低,能快速地向其他设备扩散数据以均衡负载,为作战士兵提供快捷的辅助计算,提高作战效率。

4.2 单兵作战系统可靠性分析

战场环境残酷恶劣,潮湿、泥泞、炎热等自然环境或者外物打击都有可能使设备发生故障。使用单一设备作为系统的核心计算单元,如果损坏则整个系统可能会陷入瘫痪。因此,在战场环境

表 1 本地计算层设备性能参数

Tab. 1 Performance parameter of devices in local computing layer

设备	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
处理能力 $C_{vi}/MIPS$	150	140	160	120	110	140	130

表 2 本地计算层链路带宽参数

Tab. 2 Link bandwidth parameters in local computing layer

链路	$e_{v1,v2}$	$e_{v1,v3}$	$e_{v1,v4}$	$e_{v1,v5}$	$e_{v1,v6}$	$e_{v1,v7}$	$e_{v2,v3}$
链路带宽 $B_{ij}/Mbps$	45	50	55	50	45	55	53
链路	$e_{v2,v4}$	$e_{v2,v5}$	$e_{v3,v6}$	$e_{v4,v7}$	$e_{v5,v6}$	$e_{v5,v7}$	$e_{v6,v7}$
链路带宽 $B_{ij}/Mbps$	55	50	55	45	58	55	45

中作战系统的可靠性有时比高性能更加地重要。在分布式单兵作战网络中,由于每个设备都能向周围扩散负载,部分设备损坏后,当待处理的任务负载超过了设备的负载阈值时,其他设备仍可以联合地处理该数据任务,降低作战任务时延,并增加系统的可靠性。仿真考虑本地计算层损失设备量 m 为 0、1、2、3 四种情况时系统的时延性能,如图 4 所示。

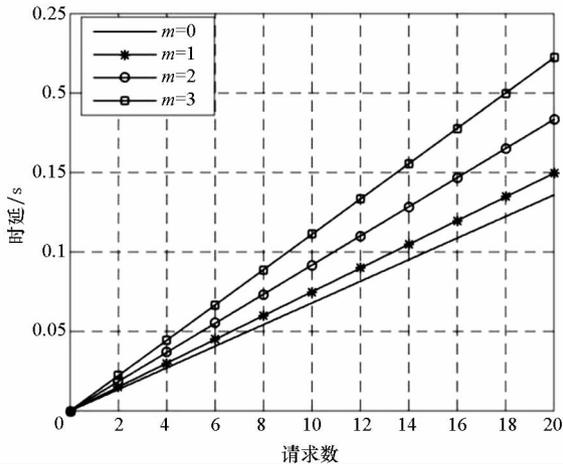


图 4 部分设备失效后时延对比

Fig. 4 Time delay comparison of equipment failure

从图 4 中可分析出当任务请求个数较小时如 2 个,由于计算量较小,设备完好和部分设备失效后的系统都能快速地进行任务处理,整体时延相差很小,系统性能并没有明显的下降。当任务计算量较大,如请求数为 20 时,四种情况的系统处理时延分别为 0.136 s、0.150 s、0.183 s 和 0.222 s,表明虽有若干设备损毁,但依然可以进行业务计算,防止了系统整体瘫痪。

为更好地验证可靠性,定义系统中若干设备故障后剩余的计算性能比 η ,如式(11)所示:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_m} \right) \frac{1}{t} \quad (11)$$

式中: t 为无损毁系统,即 $m = 0$ 时的时延; t_m 为系统中 m 个设备故障后的时延。

图 5 表示部分设备损坏后系统的剩余性能。随着损毁设备的数量增多,剩余计算性能比呈下降的趋势。但是,系统仍保持了相当的计算能力。当 3 个设备失效时,系统仍保持了原先 61% 以上的性能进行任务处理,从而验证了使用广义扩散负载均衡的本地计算架构可以增强单兵作战系统的可靠性,让士兵能在部分设备损坏时仍保持相当可观的数据处理能力。

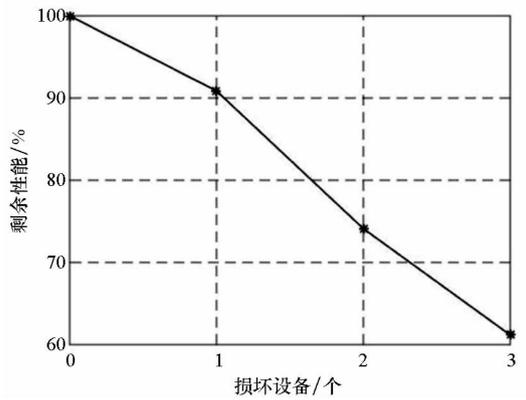


图 5 系统剩余性能分析

Fig. 5 Analysis of system residual performance

4.3 基于广义扩散算法的负载均衡策略与其他经典负载均衡算法对比

为验证广义扩散负载均衡算法在降低任务处理时延方面的性能,本文将与经典的负载均衡策略加权轮转法^[13] (Weighted Round Robin, WRR)、随机动态算法^[14] (Pick-KX)和贪婪负载均衡算法^[15] (Greedy Load Balancing, GreedyLB)进行对比,仿真结果如图 6 所示。

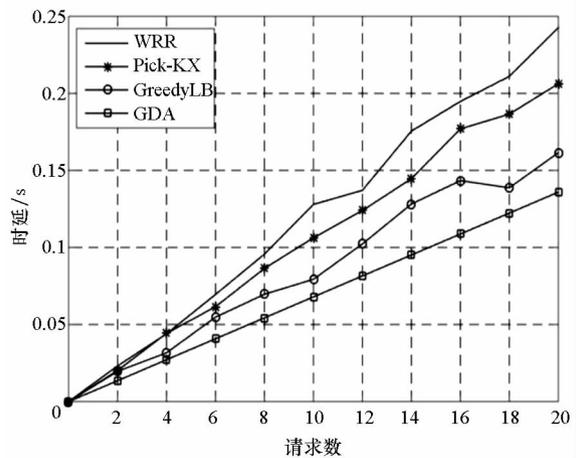


图 6 与经典负载均衡算法时延性能对比

Fig. 6 Time delay comparison of generalized diffusion algorithm and classic load balancing algorithms

由图 6 可分析得出当请求数较小时,各算法所得出的任务处理时延均很小,差距不大。但是当请求数大于 10 后,加权轮转法、随机动态算法、贪婪算法所得出的时延将逐渐拉大与广义扩散算法时延的差距。当请求数为 20 时,广义扩散算法的时延已明显低于其他几种算法,此时,广义扩散算法、贪婪负载均衡算法、随机动态算法和加权轮转法的时延分别是 0.136 s、0.170 s、0.207 s 和 0.252 s,可以充分表明应用广义扩散算法的负载均衡策略能有效地降低任务处理时延,增强作战

士兵的任务执行效率。

5 结论

针对未来单兵作战系统的数据处理效率和系统可靠性展开了研究,提出了基于可穿戴计算的分布式单兵作战网络架构,利用士兵身上的智能穿戴装备构建本地计算层,使处于网络边缘的单兵智能作战设备能协同地分布式处理作战任务。为了更有效地降低任务处理时延,采用了异构系统中的广义扩散负载均衡策略,仿真结果表明,应用该策略的分布式单兵作战网络架构能有效地降低任务处理时延,增强单兵作战系统的可靠性。在未来的研究工作中可以对各设备的负载阈值设定及阈值的自适应调整展开更广泛更深入的研究。

参考文献 (References)

- [1] 夏海清, 杨若鹏. 美军作战人员信息网(WIN-T)探析[J]. 国防科技, 2015, 36(3): 77-80, 91.
XIA Haiqing, YANG Ruopeng. The study of warfighter information network-tactical (WIN-T)[J]. National Defense Science & Technology, 2015, 36(3): 77-80, 91. (in Chinese)
- [2] 赵国宏. 作战云体系结构研究[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(3): 292-295.
ZHAO Guohong. Architecture of combat clouds[J]. Journal of Command and Control, 2015, 1(3): 292-295. (in Chinese)
- [3] 王森, 贾润, 徐伯夏. 单兵战场网络系统初探[J]. 电子科技大学学报, 2010(s1): 48-49, 53.
WANG Sen, JIA Run, XU Boxia. Research on network of individual soldier in battle space[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2010(s1): 48-49, 53. (in Chinese)
- [4] 林建红, 赵跃龙. 可穿戴计算机军事应用研究[J]. 计算机时代, 2004(2): 3-4.
LIN Jianhong, ZHAO Yuelong. Wearable computer military application research[J]. Computer Era, 2004(2): 3-4. (in Chinese)
- [5] 邓威, 张德彬. 智能可穿戴设备军事应用与发展趋势[J]. 国防科技, 2016, 37(1): 57-60.
DENG Wei, ZHANG Debin. The research on military application and development tendency of intelligent wearable devices[J]. National Defense Science & Technology, 2016, 37(1): 57-60. (in Chinese)
- [6] 杨晓凌, 邱涤珊, 彭黎, 等. 改进类电磁算法在武器目标分配问题中的应用[J]. 国防科技大学学报, 2011, 33(6): 150-153.
YANG Xiaoling, QIU Dishan, PENG Li, et al. Application of modified electromagnetism-like algorithm in weapon-target assignment problem[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2011, 33(6): 150-153. (in Chinese)
- [7] 季华益, 唐莽, 王琦. 基于大数据、云计算的信息对抗作战体系发展思考[J]. 航天电子对抗, 2015, 31(6): 1-4.
JI Huayi, TANG Mang, WANG Qi. Thinking of development of information countermeasures combat system based on the big data and cloud computing[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2015, 31(6): 1-4. (in Chinese)
- [8] 杨际祥, 谭国真, 王荣生. 并行与分布式计算动态负载均衡策略综述[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1122-1130.
YANG Jixiang, TAN Guozhen, WANG Rongsheng. A survey of dynamic load balancing strategies for parallel and distributed computing[J]. Chinese Journal of Electronics, 2010, 38(5): 1122-1130. (in Chinese)
- [9] Rotaru T, Nägeli H H. Dynamic load balancing by diffusion in heterogeneous systems[J]. Journal of Parallel & Distributed Computing, 2004, 64(4): 481-497.
- [10] 李杨, 管小荣, 徐诚. 高精度步枪系统射击密集度仿真分析方法研究[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(11): 111-114.
LI Yang, GUAN Xiaorong, XU Cheng. Research of simulation analysis method of fire accuracy of high precision rifle system[J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(11): 111-114. (in Chinese)
- [11] Hassan M A, Xiao M, Wei Q, et al. Help your mobile applications with fog computing[C]//Proceedings of 12th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking, 2015: 1-6.
- [12] Liang K, Zhao L, Zhao X H, et al. Joint resource allocation and coordinated computation offloading for fog radio access networks[J]. China Communications, 2016, 13(S2): 131-139.
- [13] Wang W, Casale G. Evaluating weighted round robin load balancing for cloud web services[C]//Proceedings of 16th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, 2015: 393-400.
- [14] Genova Z, Christensen K J. Challenges in URL switching for implementing globally distributed web sites[C]//Proceedings of International Workshop on Parallel Processing, 2000: 89-94.
- [15] Sahoo B, Kumar D, Jena S K. Performance analysis of greedy load balancing algorithms in heterogeneous distributed computing system[C]//Proceedings of International Conference on High Performance Computing and Applications, 2014: 1-7.