

负载均衡的多接入选择算法

孙 卓, 郑旭飞, 王文博

(北京邮电大学信息与通信工程学院 北京 海淀区 100876)

【摘要】针对异构无线分组网络进行多接入选择方法设计时,仅考虑已接入用户数及系统容量将存在缺陷的问题,提出了一种新的异构无线分组网络中的接入选择算法,在多接入选择时考虑了分组业务QoS和链路自适应机制(链路层重传及自适应调制)因素,来正确估计分组业务在接入后平均消耗的资源量以及分组网络当前的负载情况。最后对算法性能进行了仿真评估,并与传统多接入选择方法进行了比较,结果表明提出的算法优于传统多接入选择算法,能在保证分组业务QoS的基础上,同时达到不同网络间负载均衡的目的。

关键词 自适应调制; 异构网络; 负载均衡; 多接入选择

中图分类号 TP391.9

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.04.012

Load Balancing-Based Multi-Radio Access Selection Algorithm

SUN Zhuo, ZHENG Xu-fei, and WANG Wen-bo

(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

Abstract The design of multi-radio access selection simply according to the number of accessed users and the system capacity(MRAS) is not accurate for the wireless packet networks. A novel multi-radio access selection algorithm in heterogeneous wireless packet networks is proposed, in which the effect of link adaptive technology (including MAC retransmission and adaptive modulation) is considered together with the requirement of quality of packet service, in order to evaluate the resource requirement of packet service and network load status. The dynamic simulation is implemented to evaluate the performance of the proposed algorithm compared with traditional minimum accessed user and minimum path loss MRAS schemes,. The results reveal that the proposed MRAS algorithm performs better than those schemes in terms of QoS guarantee and load balancing.

Key words adaptive modulation; heterogeneous networks; load balancing; multi-radio access selection

多接入选择(multi-radio access selection)是指在异构网络中,终端可以动态选择一个最佳的接入网络。研究表明,多接入选择可以有效利用多接入增益(multi-radio access gain)^[1-2],提高整个系统的容量及频谱利用率,为用户提供更好的、有差异的业务质量保证。在现有的异构网络多接入选择研究中,无论是基于代价函数的方法^[3-4],还是基于业务类型、接入技术、路径损耗和负载均衡的多种多接入策略^[5],往往只针对传统的话音业务进行分析,在接入选择时只考虑话音业务服务特性,如信号质量、固定速率要求,以及网络可接入用户数和系统可容纳的总用户数等。文献[6]采用集中式负载均衡方法,为了使异构网络能容纳更多用户及实现资源的有效利用,网络端负载均衡功能将指导新产生的用户接入负载较轻的小区,负载超过一定门限的小区部分非实时业务用户转移,到负载较轻的小区或网络中。

实际上,作为未来无线网络的主要业务类型,无线网络中分组业务的主要特点是QoS多样性和自适应链路机制,以及动态分组调度策略的应用,因而比传统话音业务能更有效地利用无线资源。在针对分组业务的多接入选择算法设计中,如果仍然按照针对传统话音业务的接入选择的考虑因素设计是不够的,这是因为分组业务接入后的所需资源以及网络的资源利用状况不仅仅依赖于用户数。

在针对分组业务的多接入选择的算法设计中,首先应能正确估计分组业务接入后平均消耗的资源量,以及分组网络当前的负载情况。文献[7]提出了一种针对分组业务的多接入选择方法,在多接入选择时考虑实时、非实时业务的不同QoS要求,重点考虑链路自适应机制中MAC层的分组重传在负载均衡时的影响^[6]。本文改进了估计业务接入后所需资源以及网络原有负载状况的方法,深入分析链路

收稿日期: 2009-01-21; 修回日期: 2009-07-10

基金项目: 国家973项目(2007CB310602)

作者简介: 孙 卓(1976-),男,博士,主要从事宽带无线通信、异构网络融合机制方面的研究。

自适应机制中自适应调制编码对资源需求与分配的影响, 并给出了分组业务的QoS需求的更一般的表达方式, 提出了一种以负载均衡为目标的异构无线分组网络多接入选择机制, 达到分组业务用户接入网络后, 在QoS得到保证的同时实现网络间负载均衡的目的。

1 系统模型

1.1 资源分配模型

本文将多用户正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 系统作为研究对象。在系统模型中, 首先将所有子载波按连续方式等分为固定个子信道, 每个子信道包含 F_l 个子载波; 然后将帧长分为 T_l 个等长时隙, 一个时隙可能包括 S_l 个OFDM符号, 时域上一个时隙和频域上一个子信道构成一个二维单元, 作为多用户OFDM系统资源分配的基本单位。在上述系统中, 用户到基站的信道相互独立, 使得在某一时刻各个用户在特定的时隙及子信道(一个二维单元)上的信道状况不同。通过资源调度算法可以将每个二维单元资源分配给最适合的用户使用, 以充分利用自适应调制编码提高传输速率。假定以 $C_{k,l}$ 表示用户 k 接入第 l ($l=1,2,\dots,L$) 个接入点后, 根据自适应调制编码机制确定每调制符号所携带的信息比特数, 可知在第 u 个二维OFDM资源单位中可获得的传输速率为:

$$b_{k,l,u} = C_{k,l,u} \cdot F_l S_l / T_l \quad (1)$$

一般地, MAC层错误重传机制同样需要基于上述二维单元为最小单位的资源分配方式。

1.2 信道误码模型

本文采用并改进了文献[8]中提出的信息误码模型。假定以 P_R 表示BS接收到的用户信号功率, 用户距离BS为 r , 则:

$$P_R = \alpha^2 A r^{-\eta} P_T \quad (2)$$

式中 α^2 为均值为1的服从指数分布的随机变量, 表征快衰落; $A r^{-\eta}$ 表征路径损耗, 衰落指数 η 一般取3或4; P_T 为发射功率(假定在一种网络下对所有用户都相同)。以 P_R 和 W 分别代表BS接收到的用户信号功率和所有的噪声功率, 信号噪声功率比(SNR)为:

$$\gamma = P_R / W \quad (3)$$

实际上, 系统误码率与信噪比有直接关系, 在一定信噪比范围, 系统可提供的误比特率是一定的。给定包成功传送的最低信噪比门限值的情况下, 距离基站为 r 的用户包不能成功传送的概率为:

$$P(r) = \Pr[P_R / W < b] \quad (4)$$

式中 b 是信噪比门限值。因为 α^2 服从均值为1的指数分布, 根据随机变量函数的概率密度的计算方法, 信噪比为:

$$\gamma = P_R / W = \alpha^2 A r^{-\eta} P_T / W \quad (5)$$

也服从均值为 $A r^{-\eta} P_T / W$ 的指数分布。因此可以得到误包率为:

$$P(r) = \Pr[\alpha^2 A r^{-\eta} P_T / W < b] = 1 - \exp[-b r^\eta / \gamma_0] \quad (6)$$

式中 $\gamma_0 = A P_T / W$ 为处于小区边沿用户接收端的平均信噪比。

用户到不同网络的基站的信道将经历不同的衰落及噪声值, 因此传输过程可以看作是相互独立的过程。根据式(6), 第 k 个用户到第 l 个接入点(基站)包传输的丢失概率 $P_{k,l}(r)$, 将取决于信噪比及 b , 并且相互独立。

2 负载估计与多接入选择

本文将在考虑链路自适应机制(包括自适应调制、自动错误重传)的基础上, 对分组业务接入一定网络所需资源进行分析, 并对分组网络的负载进行估计。最后, 根据所估计的业务所需资源及网络负载状况提出一种针对分组业务的多接入选择方法, 以达到负载均衡的目的。

不失一般性, 假定系统采用自适应多阶正交振幅调制 (multi-level quadrature amplitude modulation, MQAM) 方式。如果给定第 k 个用户的业务误码率要求 Γ_k (对不同业务来说, 是一个常量), 第 k 个用户在第 l 个接入网络的第 u 个二维资源上的有效信噪比 $\gamma_{k,l,u}$, 那么第 k 个用户在第 l 个接入网络的第 u 个二维资源上可获得的传输速率 $b_{k,l,u}$ 为:

$$b_{k,l,u} = \log_2 \left(1 - \frac{1.5 \gamma_{k,l,u}}{\ln(5 \Gamma_k)} \right) \cdot F_l S_l / T_l \quad (7)$$

然而, 由于多径快速衰落在时间和频率上的影响, 使得用户在不同的二维资源上的信噪比 $\gamma_{k,l,u}$ 是一个随机变量, 可传输的比特数 $b_{k,l,u}$ 也是一个随机变量。根据上一节假定信噪比 $\gamma_{k,l,u}$ 服从指数分布, 其概率密度函数为:

$$f_\gamma(\gamma_{k,l,u}) = \frac{1}{\gamma_{k,l,u}} \exp \left(-\frac{\gamma_{k,l,u}}{\gamma_{k,l,u}} \right) \quad (8)$$

式中 $\overline{\gamma_{k,l,u}} = E(\gamma_{k,l,u})$ 为平均信噪比。根据式(7), 可以知道第 k 个用户在第 l 个接入网络的第 u 个二维资源上能传送的最大比特数 $b_{k,l,u}$ 为信噪比 $\gamma_{k,l,u}$ 的单调函数, 其反函数 $\gamma_{k,l,u} = f_\gamma^{-1}(b_{k,l,u})$ 一阶可导。根据反

函数的概率密度计算方法, 可得随机变量 $b_{k,l,u}$ 的概率密度为:

$$f_b(b_{k,l,u}) = \left(\omega \theta 2^{\theta b_{k,l,u}} \ln 2 \right) / \overline{\gamma_{k,l,u}} \cdot \exp\left(\omega(1 - 2^{\theta b_{k,l,u}}) / \overline{\gamma_{k,l,u}} \right) \quad (9)$$

式中 $\omega = -\ln(5\Gamma_k)/1.5$; $\theta = T_l/(F_l S_l)$ 。

考虑第 k 个用户的业务速率为 R_k , 假定在接入第 l 个网络后估计需要的平均资源数为 n_l 才能保证业务QoS需求, 即当业务接入后获取的数据传输速率 $r_{k,l}$ 满足:

$$r_{k,l} \triangleq \sum_{u=1}^{n_l} b_{k,l,u} \approx R_k \quad (10)$$

为求平均资源数 n_l , 需要首先求得 $r_{k,l}$ 的概率分布。由于 $r_{k,l}$ 为多个随机变量 $b_{k,l,u}$ 的叠加, 直接求其概率分布比较困难。但是, 根据前一节的讨论, 用户在时间和频率选择性衰落的作用下, 在各个二维资源上所获得的信噪比相关性很小, 因此在 n_l 个资源上获得的数据速率 $\{b_{k,l,u}\}_{u=1}^{n_l}$ 可作为 n_l 个独立但同分布的随机变量集合。当 n_l 足够大时, 根据中心极限定理, 大量同分布随机变量和 $r_{k,l}$ 服从正态分布, 其分布的均值 $\mu_{k,l}$ 及方差 $\sigma_{k,l}^2$ 为:

$$\begin{cases} \mu_{k,l} = n_l \mu_{k,l,u} \\ \sigma_{k,l}^2 = n_l \sigma_{k,l,u}^2 \end{cases} \quad (11)$$

式中 $\mu_{k,l,u}$ 、 $\sigma_{k,l,u}^2$ 分别为随机变量 $b_{k,l,u}$ 的均值及方差, 已知其概率密度函数 $f_b(b_{k,l,u})$, 可由下式求得:

$$\mu_{k,l,u} = \int_{-\infty}^{\infty} b_{k,l,u} f_b(b_{k,l,u}) db_{k,l,u} \quad (12)$$

$$\sigma_{k,l,u}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (b_{k,l,u} - \mu_{k,l,u})^2 f_b(b_{k,l,u}) db_{k,l,u} \quad (13)$$

因此, 接入后业务速率为 R_k 的用户在接入第 l 个接入网络后, 每帧内平均资源需求(二维资源单元数) n_l 可由下式求得:

$$R_k = \mu_{k,l} = n_l \mu_{k,l,u} \quad (14)$$

上述分析中考虑了自适应调制编码机制的因素, 但是没有考虑链路层错误重传的影响。在上述信道模型下, 考虑MAC层的自动重传机制(ARQ)的影响, 与文献[7]推导方法一致, 速率为 R_k 的分组业务正确接收时每帧内平均所需要的二维单元可估计为:

$$N_{k,l} = E(T_{r_{k,l}}) \cdot n_{k,l} = \frac{1}{1 - P_{k,l}} \cdot n_{k,l} \quad (15)$$

根据以上结论, 可以将其应用于估计当前分组网络负载。假定第 l 个接入点所覆盖的小区内已接入 K_l 个用户, 那么根据上式可以推导出第 l 个小区网络目前的负载估计为:

$$N_{\text{load},l} = \sum_{i=1}^{K_l} N_{k,l} = \sum_{i=1}^{K_l} \frac{1}{1 - P_{k,l}} \cdot n_{k,l} \quad (16)$$

在上述分析的基础上, 本文提出的多接入选择策略的目标为, 在保证分组业务用户QoS的基础上, 选择消耗式(15)所表示的系统资源最少的一个网络接入。假定对用户 i 来说, 有 K 个可选择的基站进行接入, 整个接入选择策略可描述为:

(1) 当用户 k 产生多接入选择事件时, 要获取被覆盖的接入基站(可能属于不同接入网络)列表, 假定共有 L 个可接入基站。

(2) 测量用户到每个基站的信道信噪比, 以预测相应的每单元资源携带的信息比特、误码率参数。为了分析的简化, 假定不同系统均采用1.1节中同样的资源分配方式, 但不同系统有不同的帧长、子载波数、子信道参数及时隙分配方法等。

(3) 根据式(7)计算用户在 L 个系统中的资源需求估计值, 并估计网络负载状况, 以决定是否允许用户接入; 如允许用户 k , 将选择接入或切换到接入点 j , 且:

$$j = \arg \min_{l \in \{1,2,\dots,L\}} \frac{N_{k,l}}{N_{\text{total},l} - N_{\text{load},l}} \quad (17)$$

式中 $N_{\text{total},l}$ 为第 l 个接入网络总的资源数或容量。

3 仿真分析

3.1 小区及移动模型

为了评估本文所提出的多接入选择算法性能, 搭建了异构无线接入系统级仿真平台。仿真场景主要建立一个WiMAX^[9]与LTE^[10]两种无线分组网络互相覆盖的接入网区域。19个LTE或WiMAX小区按照WrapAround拓扑排列, 其中LTE小区半径为1.5 km, WiMAX小区半径为3 km。两个系统中心小区基站位置相重叠, 仿真初始, 用户均匀分布在重复覆盖区域, 并随机产生移动方向。

3.2 仿真主要参数

仿真主要参数见表1。为了降低仿真复杂度, 不同接入系统采用一致的1 024个子载波的OFDM调制, 帧长5 ms, OFDM符号周期为0.2 ms, 一个二维资源单元由48个连续子载波与10个符号周期组成。

不同网络下衰落信道的建模相互独立: 路径损耗及阴影衰落采用郊区场景模型, 快衰落模型采用

修正的JAKES模型。部分参数参考了文献[10]。

表1 主要仿真参数

仿真参数	LTE	WiMAX
载频/带宽	2.0 GHz / 10 MHz	2.4 GHz / 10 MHz
帧长/ms	10	10
子载波数	1 024	1 024
路径损耗	$L=128.1+37.6lg(R)$ (R 单位米)	$L=26.76+38lg(R)$ (R 单位米)
阴影衰落方差/dB	8	10
阴影衰落相关距离/m	20	50
阴影衰落 小区间	0.5	0.3
相关系数 扇区间	1.0	0.7
多径衰落	Jakes Model ($f_c=2$ GHz)	Jakes Model ($f_c=2.4$ GHz)
移动速度/km·h ⁻¹	30	30
基站发射功率/dBm	46	36
噪声功率/dBm·Hz ⁻¹	-170	-174

3.3 仿真结果分析

仿真结果只统计了处于两个网络重复覆盖区域中心的两个小区(分属不同网络)。为了对算法性能进行评估,将本文的多接入选择策略表示为iMLB,在仿真中将iMLB、文献[5]中提出的MLB方法与两种传统的最少已接入用户数(MAU)与最小路径损耗(MPL)方法^[7]进行了比较。

分组用户选择接入一个网络(或小区)后,由于网络负载已满导致用户阻塞的比率如图1所示。统计的用户包括两类,一类为初始接入的分组业务用户,另一类为系统间切换的分组业务用户。MPL与MAU均为传统的针对语音用户的接入选择与负载均衡方法,应用简单但仅仅考虑了用户到基站的信道质量或接入的用户数。应用在分组业务上则不能很好地预测分组网络的整个负载状况和保障QoS,使得业务在接纳控制过程中被阻塞而需要重新选择,因此在仿真结果上体现为性能差于MLB、iMLB方法。另外,因为完全考虑了自适应机制的因素,iMLB方法在降低用户阻塞率方面也略好于MLB方法。

实时分组业务的丢包率统计如图2所示。接入后多用户间采用相同的公平调度机制。从仿真结果可以看出,在不同的接入选择策略下,iMLB、MLB方法在丢包率方面远小于其他两种接入选择策略,对分组业务QoS保证更好。图3对比了不同接入策略下两个网络的平均负载(归一化后)。理想的负载均衡策略下,两个网络的平均负载状况应该接近,以保证资源的最优利用。从图中可以看到,本文所提出iMLB及MLB接入策略下,对于网络负载均衡效果非

常明显,保持两个网络负载状况都比较接近。

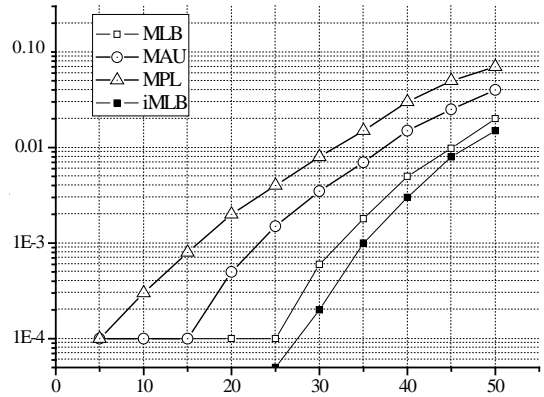


图1 分组业务(用户)接入阻塞率

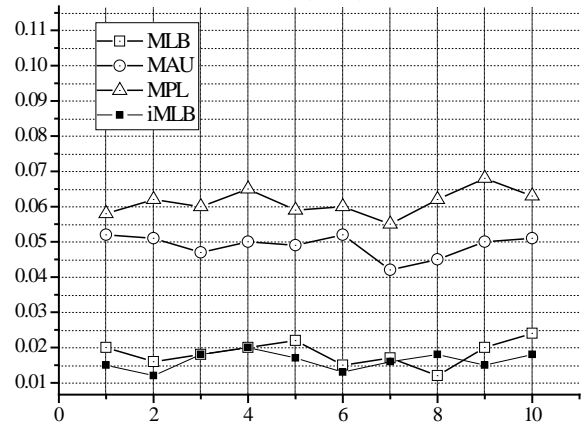


图2 分组业务丢包率

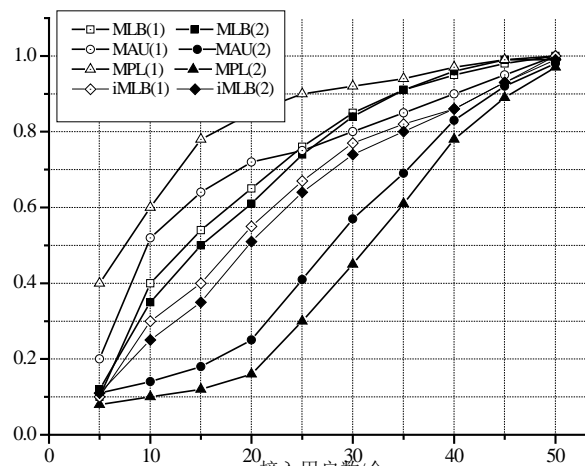


图3 不同网络平均负载状况

4 结论

针对目前多接入选择策略中分组业务所存在的问题,本文提出一种以负载均衡为目标的异构无线分组网络中的多接入选择机制,在估计业务接入后所需资源以及网络原有负载状况过程中,重点考虑了链路自适应机制(包括自适应调制编码及MAC重

传机制), 以及分组网络对业务特性的影响, 可保证接入选择后分组业务QoS和网络间负载均衡。仿真表明在接入阻塞率、分组业务QoS、负载均衡方面, 本文所提出的iMLB算法性能均好于传统的接入选择算法。

参 考 文 献

- [1] TOLLI A, HAKALIN P, HOLMA H. Performance evaluation of common radio resource management (CRRM) [C]//ICC 2002. New York: IEEE, 2002: 3429-3433.
- [2] Ambient Networks, Multi Radio Access Architecture[J/OL] [2008-12-31]. <http://www.ambient-networks.org/>, 2005.
- [3] TONGUZ O K, YANMAZ E. On the theory of dynamic load balancing[C]//IEEE Global Telecommunications Conference. San Francisco: IEEE Press, 2003: 3626 - 3630.
- [4] PARK H, YOON S, KIM T, et al. Vertical handoff procedure and algorithm between IEEE802.11 WLAN and CDMA cellular network[C]//Mobile Communications: 7th CDMA International Conference. Seoul: Springer, 2003: 103-112.
- [5] IST EVERAST Project, Deliverable D20: Final report on the evaluation of RRM/CRRM algorithms[J/OL] [2009-01-09]. <http://www.etsi.org>, 2005.
- [6] NING Guo-qin, ZHU Guang-xi, PENG Lie-xin, et al. Load balancing based on traffic selection in heterogeneous overlapping cellular networks[C]// The First IEEE and IFIP International Conference in Central Asia on Internet. Bishket Kyrgyzstan: IEEE Press, 2005: 26-29.
- [7] 孙 卓, 刘铁军, 张倩倩, 等. 异构无线分组网络中的接入选择机制[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2762-2765.
- SUN Zhuo, WANG Wen-Bo, et al. Radio access selection algorithm in heterogeneous wireless packet networks[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(10): 2762-2765.
- [8] BIANCHI G, TINNIRELLO H. Improving load balancing mechanism in wireless packet networks[C]//ICC, 2002. New York: IEEE Press, 2002: 891- 895.
- [9] IEEE Std 802.16e-2005, Part 16. Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems[J/OL] [2008-12-11]. <http://www.ieee802.org/16/>, 2005.
- [10] 3GPP TR 25.814 V1.2.1, Physical layer aspects for evolved UTRA[J/OL][2006-05-20]. <http://www.3gpp.org/>, 2006.
- 编 辑 蒋 晓
-
- (上接第531页)
- [6] PHAM D, AIPPERSPACH T, BOERSTLER D, et al. Overview of the architecture, circuit design, and physical implementation of a first-generation cell processor[J]. IEEE JSSC, 2006, 41(1): 179-196.
- [7] OZTURK O, KANDEMIR M, KARAKOY M, et al. Customized on-chip memories for embedded chip multiprocessors[C]//ACM/IEEE Asia South Pacific Design Automation Conference. New York: ACM Press, 2005: 743-748.
- [8] TAO J, KUNZE M, KARL W. Evaluating the cache architecture of multicore processors[C]//Parallel, Distributed and Network-Based Processing. Washington, D C: IEEE Computer Society, 2008: 12-19.
- [9] BANAKAR R, STEINKE S, LEE B. Comparison of cache and scratch-pad-based memory systems with respect to performance, area and energy consumption[EB/OL]. [2009-01-12]. <http://ls12-www.cs.uni-dortmund.de/publications/html/./papers/2001-TechReport-762.ps.gz>.
- [10] 陈书明, 汪 东, 陈小文, 等. 一种面向多核DSP的小容量紧耦合快速共享数据池[J]. 计算机学报, 2008, 31(10): 1737-1744.
- CHEN Shu-ming, WANG Dong, CHEN Xiao-wen, et al. A small close-coupled fast shared data pool for multi-Core DSPs[J]. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(10): 1737-1744.
- [11] 陈国良. 并行计算-结构算法编程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 140-141.
- CHEN Guo-liang. Parallel computing: architecture, algorithm, programming[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 140-141.
- [12] 章承科. 多核处理器构架的高速JPEG解码算法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006, (1): 44-47.
- ZHANG Cheng-ke. High speed JPEG decoding method for multiprocessor architecture[J]. Microcontrollers and Embedded Systems, 2006, (1): 44-47.
- 编 辑 税 红